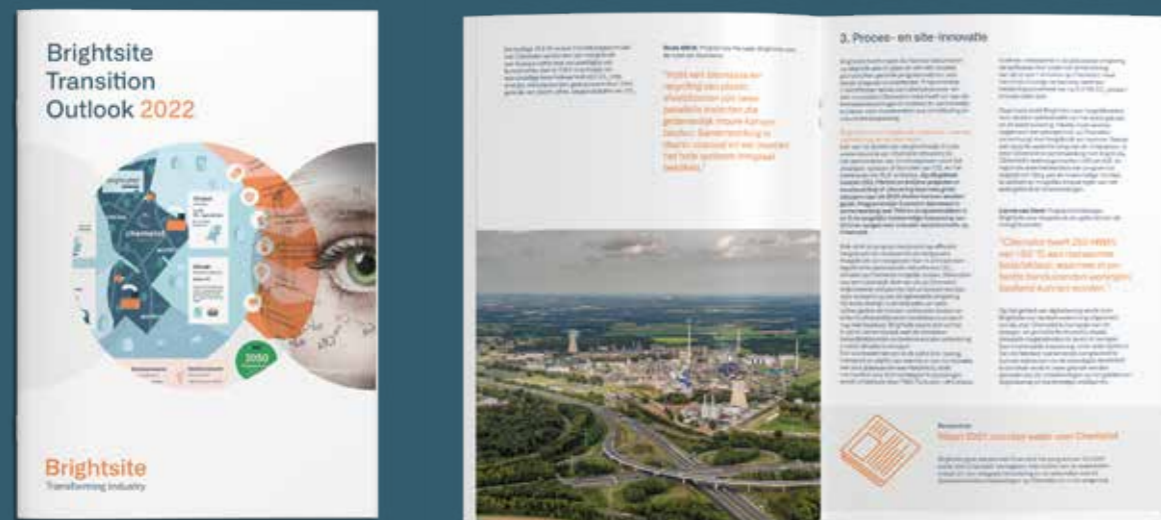


# Brightsite Transition Outlook 2022

Onderbouwing



**Brightsite**  
Transforming industry



*Van dit document met de volledige technische en cijfermatige onderbouwing is ook een korte brochureversie beschikbaar. U kunt deze downloaden via [www.brightsitecenter.com](http://www.brightsitecenter.com) of via de website een gedrukte versie aanvragen.*

## 1. Voorwoord en managementsamenvatting

In 2015 tekende Nederland – samen met 195 andere landen – het Klimaatverdrag van Parijs om de opwarming van de aarde te beperken tot bij voorkeur 1,5 graad Celsius. Wereldwijd zijn er daarna doelstellingen geformuleerd en maatregelen geïmplementeerd om de uitstoot van broeikasgassen terug te dringen. In Nederland heeft dit in juni 2019 geleid tot het Nationale Klimaatakkoord, met als inmiddels aangescherpte doelstelling om de emissie in 2030 met 60% te verminderen en in 2050 tot nul terug te brengen.

De chemische industrie, in Limburg grootschalig actief op de locatie Chemelot Geleen, kan gezien haar omvang een substantiële bijdrage leveren aan de realisatie van deze klimaatdoelen. Voor de ontwikkeling en toepassing van hiervoor benodigde innovatieve technologieën is in 2019 op initiatief van Brightlands Chemelot Campus samen met Sitech, TNO en Universiteit Maastricht het Brightsite<sup>1</sup> samenwerkingsverband opgericht. De centrale missie van Brightsite is tweeledig; demonstreren dat de klimaatdoelstellingen op Chemelot kunnen worden gerealiseerd en het opleiden van een nieuwe generatie onderzoekers en medewerkers om deze in de praktijk te brengen.

In deze **Brightsite Transition Outlook** wordt een overzicht gegeven van de inmiddels verkregen inzichten omtrent hoe en wanneer de klimaatdoelen op Chemelot kunnen worden gerealiseerd. Samenvattend is duidelijk dat de doelstelling voor 2030 naar verwachting grotendeels door geïdentificeerde maatregelen met de bedrijven op Chemelot kan worden gerealiseerd. De nul-emissie doelstelling voor 2050 zal echter nog diverse nieuwe oplossingen verlangen.

Het Brightsite samenwerkingsverband bereidt een pallet aan nieuwe technologische opties voor. Brightsite heeft hiervoor inmiddels voor Chemelot een modelmatige aanpak ontwikkeld waarmee in aanmerking komende opties kunnen worden getoetst. Hieruit is duidelijk geworden welke technologieën op het gebied van elektrificatie en gebruik van groene grondstoffen nader moeten worden ontwikkeld en toegepast om de emissiedoelstelling voor 2050 op een economisch en maatschappelijk verantwoorde wijze te realiseren. Hierbij is er een grote afhankelijkheid van initiatieven van- en samenwerking met (toekomstige) externe toeleveranciers van duurzame elektriciteit en grondstoffen. Voor een kansrijke organisatie is intensieve samenwerking met overheden nodig. Voor de nationale overheid is een stimulerende regierol gewenst, waarbij te denken valt aan een op te richten 'KlimaatagentschapNL'. Een dergelijk initiatief kan, gezien het grensoverschrijdende karakter van de klimaatproblematiek, ook de samenwerking op Europees niveau coördineren.

Voor de combinatie van de Nederlandse chemische en hightech industrie met de verschillende toeleverbedrijven liggen er hierbij mogelijkheden om internationaal toonaangevende posities in te nemen met zingevende werkgelegenheid voor een nieuwe generatie medewerkers en onderzoekers.

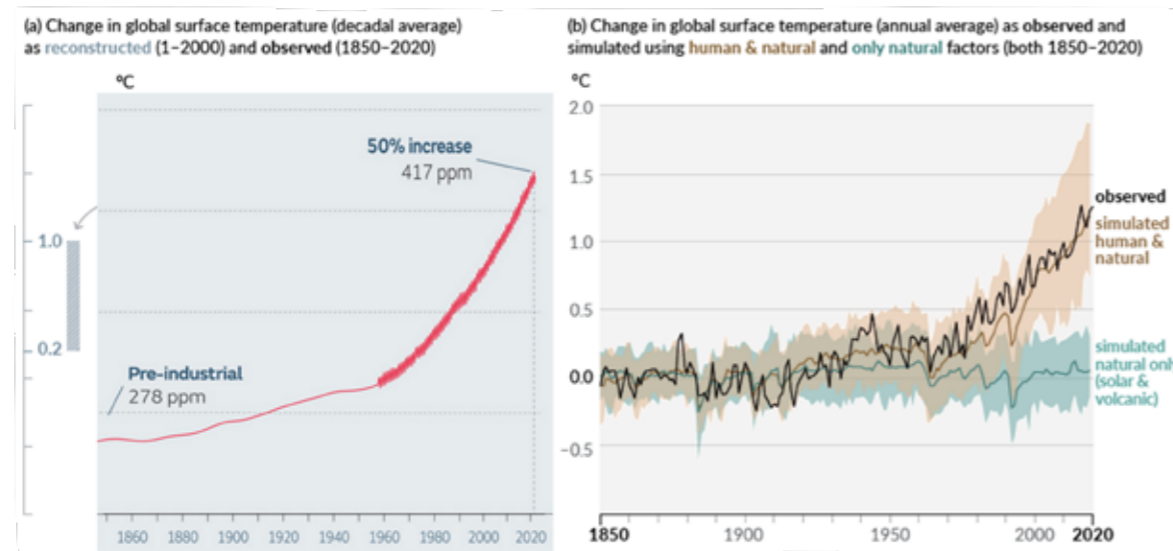
Deze Brightsite uitgave (april 2022) is tot stand gekomen onder leiding van Paul Brandts (Brightsite Intelligence Officer) en Dick Koster (adviseur) in samenwerking met de Brightsite directie en de Programma Managers. De publicatie is opgebouwd uit feiten en kennis van januari 2022 en zal naar verwachting een jaarlijkse update krijgen.

<sup>1</sup> Zie [www.brightsitecenter.com](http://www.brightsitecenter.com)

## 2. De (inter)nationale klimaataanleiding en -doelstelling

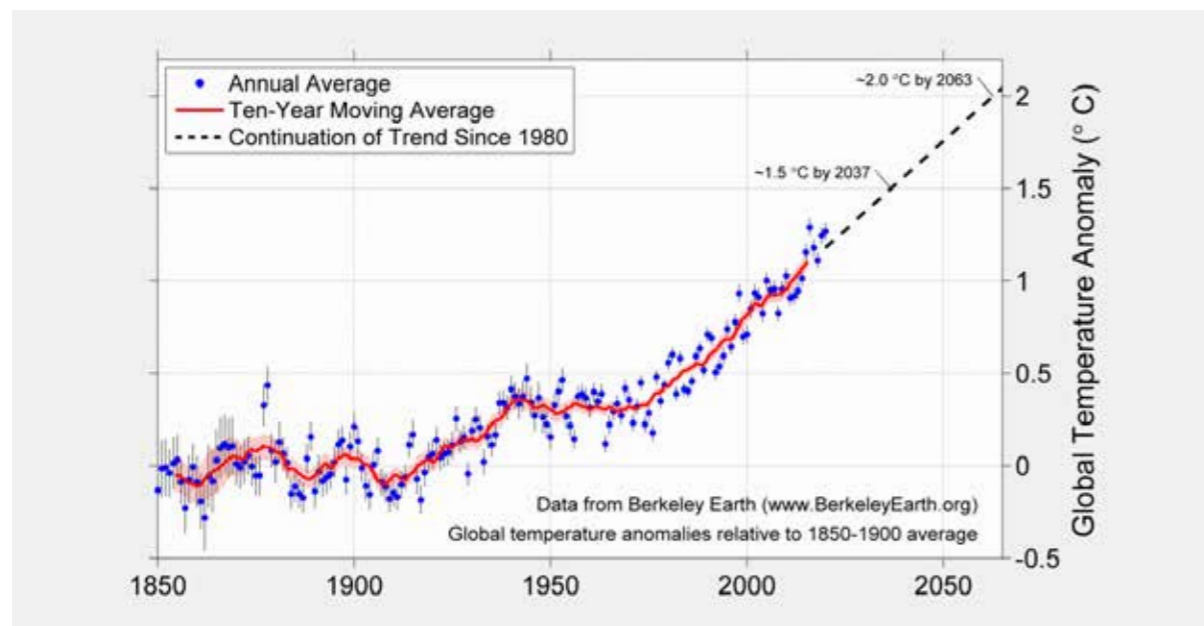
### 2.1. Internationale aanleiding

Het verband tussen de in de laatste 150 jaar toegenomen concentratie van CO<sub>2</sub> en andere broeikasgassen in de atmosfeer en de sindsdien waargenomen versnelde opwarming van de aarde, komt zoals in figuur 1 geïllustreerd steeds prominenter naar voren.



Figuur 1: Verband tussen de toename van CO<sub>2</sub> in de atmosfeer door menselijke activiteiten (links) en de opwarming van de aarde (rechts)

In 2015 tekende Nederland, samen met 195 andere landen, het Klimaatverdrag van Parijs. Het doel van dit akkoord is de opwarming van de temperatuur op aarde te beperken tot maximaal 2 graden en bij voorkeur tot 1,5 graad Celsius. Uit het recent gepubliceerde figuur 2 is duidelijk dat indien de sinds 1970 waargenomen lineaire opwarming doorzet, deze grenswaarden reeds in 2033 en 2059 bereikt zullen worden.



Figuur 2: Historische en te verwachten opwarming van de aarde (zonder extra maatregelen).

Wereldwijd zijn en worden er sinds 2016 door overheden en bedrijfsleven in toenemende mate doelstellingen geformuleerd en maatregelen geïmplementeerd om de uitstoot van broeikasgassen terug te dringen. In Nederland heeft dit in juni 2019 geleid tot het Nationale Klimaatakkoord met

de inmiddels, op basis van de Europese Klimaatwet, aangescherpte doelstelling om ten opzichte van 1990 de uitstoot van broeikasgassen in 2030 met minimaal 60% te verminderen. Dit als tussenstap naar volledige klimaatneutraliteit met 0% netto emissie in 2050.

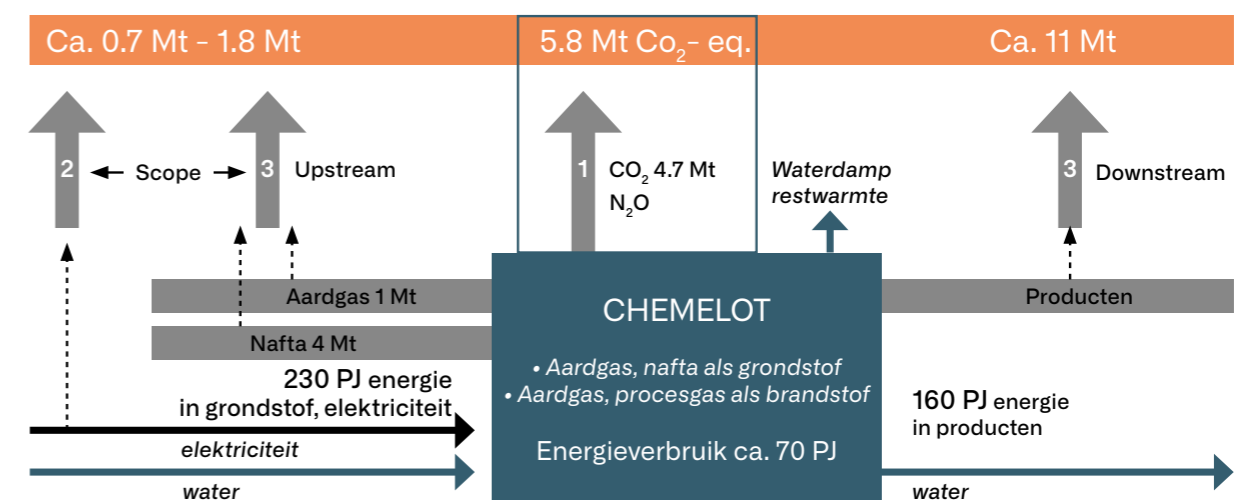
### 2.2. Onderscheid en toerekening van emissies

Bij de formulering en uitvoering van beleid en regelgeving wordt, afhankelijk van de herkomst, onderscheid gemaakt in 3 typen zogenaamde scope 1, scope 2 en scope 3 broeikasgasemissies. Scope 1 emissies betreft de uitstoot van ondernemingen op het eigen bedrijfsterrein. Scope 2 emissies betreft uitstoot die vrijkomt bij de externe opwekking van elektriciteit voor gebruik op het eigen terrein. Bij scope 3 wordt een onderscheid gemaakt tussen zogenaamde “upstream” en “downstream” emissies. Upstream scope 3 betreft voornamelijk emissies die buiten het bedrijf vrijkomen door toelevering van grondstoffen en downstream scope 3 emissies komen buiten het bedrijf vrij aan het eind van de levensduur van producten, zoals bij verbranding van kunststofproducten.

Omdat deze emissies veelal met elkaar verbonden zijn, wordt de herkomst, samenhang en het vrijkomen daarvan in Annex 1 nader toegelicht. Voor de duiding van de omvang van de emissies wordt hierbij gebruik gemaakt van door het CBS gepubliceerde gegevens van 2019, omdat de economische activiteiten in dat jaar nog niet door de internationale Corona-crisis waren vertekend. Hierbij wordt ingegaan op de bijdrage van de activiteiten van de Nederlandse industrie als geheel en de specifieke bijdrage van chemische bedrijven op Chemelot.

### 2.3. Herkomst emissie op Chemelot

Op Chemelot in Zuid-Limburg wordt jaarlijks voor de fabricage van kunststofproducten en kunstmest bijna 4 megaton (Mt)<sup>2</sup> uit aardolie vervaardigde nafta en ruim 1 Mt aardgas gebruikt, waardoor (in CO<sub>2</sub>-eq.<sup>3</sup>) 5,8 Mt CO<sub>2</sub>- en lachgas- (N<sub>2</sub>O) emissie ontstaat. Deze scope 1 emissie draagt voor ca. 30% bij aan de totale uitstoot van broeikasgassen van Limburg en levert ca 3% van de Nederlandse emissie. Figuur 3 geeft een schematisch overzicht van de massa- en energiestromen en de hiermee samenhangende scope 1, 2, 3 emissies op Chemelot.



Figuur 3: Grondstof- en energiestromen en scope 1, 2, 3 emissies op Chemelot in 2019

<sup>2</sup> Mt is 1 miljoen ton. Verder aangeduid als Mt

<sup>3</sup> Om de invloed van verschillende broeikasgassen te kunnen optellen, wordt deze omgerekend naar CO<sub>2</sub>-equivalent. De uitstoot van 1 kilogram lachgas staat gelijk aan die van 298 kilogram CO<sub>2</sub> (= 298 CO<sub>2</sub>-eq.).

Hierin is zichtbaar dat de primaire scope 1 emissie van deze activiteiten op jaarbasis 5,8 Mt CO<sub>2</sub>-eq. bedraagt, maar dat daarnaast in totaal nog ca. 14 Mt CO<sub>2</sub>-eq. scope 2 en 3 emissies buiten Chemelot ontstaat. Daarvan wordt ca. 11 Mt CO<sub>2</sub>-eq. downstream scope 3 emissie veroorzaakt door na gebruik van kunststof (tussen)producten bij verbranding of verwerking vrijkomende fossiele koolstof.

Ter invulling van het nationale Klimaatakkoord heeft Chemelot de doelstelling om in 2050 de scope 1 emissies tot 0 te reduceren. Chemelot streeft in aanvulling daarop ook naar vervanging van fossiele koolstof in de vervaardigde producten. In 2016 werd in de 'Visie Chemelot 2025' de ambitie verwoord om in 2025 te zijn uitgegroeid tot de meest duurzame en concurrerende chemiesite van Europa. Vervolgens werd deze visie in 2018 aangevuld met de doelstelling om in 2050 volledig klimaatneutraal te opereren en uit te groeien tot de meest veilige en concurrerende site van Europa. In een in het kader van invulling van het nationale Klimaatakkoord opgestelde brochure<sup>4</sup> werden vervolgens de hiertoe te nemen concrete stappen en projecten voor de reductie van de CO<sub>2</sub>-uitstoot in 2030 beschreven. Voor de coördinatie van de uitvoering hebben de betrokken bedrijven gezamenlijk het 'Chemelot Sustainability Team' opgericht, dat in 2018 de herkomst van de op Chemelot aanwezige emissies en de opties om deze te verminderen in kaart heeft gebracht. Naast de emissiereductie van scope 1 broeikasgassen, is daarbij de ambitie geformuleerd om in 2030 minimaal 1 Mt nafta-olie en 0,2 Mt aardgas (= -20% t.o.v 2018) te vervangen door niet-fossiele grondstoffen, waardoor ook een deel van de uiteindelijk vervaardigde producten 'groen' kan worden vervaardigd. Hierdoor wordt tevens de scope 3 emissie met ruim 3 Mt (= ca. 25%) teruggebracht. Voor deze 'grondstoffentransitie' is in 2018 door overheid en bedrijfsleven een intentieverklaring<sup>5</sup> ondertekend, die daarna – anders dan het klimaatakkoord – nog niet is uitgewerkt in formeel nationaal beleid.

Zoals in figuur 2.3 aangegeven is het effect op het klimaat als gevolg van het gebruik van fossiele grondstoffen op Chemelot en daardoor veroorzaakte scope 3 emissies veel groter dan dat van scope 1 emissies alleen. Dit geldt ook voor de Nederlandse chemische industrie als geheel. De totale (scope 1+2+3) reductie-ambitie van Chemelot heeft een ordegrrootte van bijna 20 Mt CO<sub>2</sub>-eq. Ter vergelijking kan worden aangegeven dat de totale emissie van de vijf Nederlandse kolencentrales in 2019 13,9 Mt CO<sub>2</sub> eq. bedroeg<sup>6</sup>. De Chemelot emissiereductie doelstellingen voor 2030 (3 Mt minder scope 1 + 3 Mt minder scope 3) zijn daarmee vergelijkbaar met het sluiten van een fulltime draaiende, moderne kolencentrale. Het realiseren van 0-uitstoot ambitie in 2050 is te vergelijken met de aanvullende sluiting van nog eens twee van zulke centrales.

<sup>4</sup> "Wij hebben meer dan een plan", brochure Chemelot, mei 2018

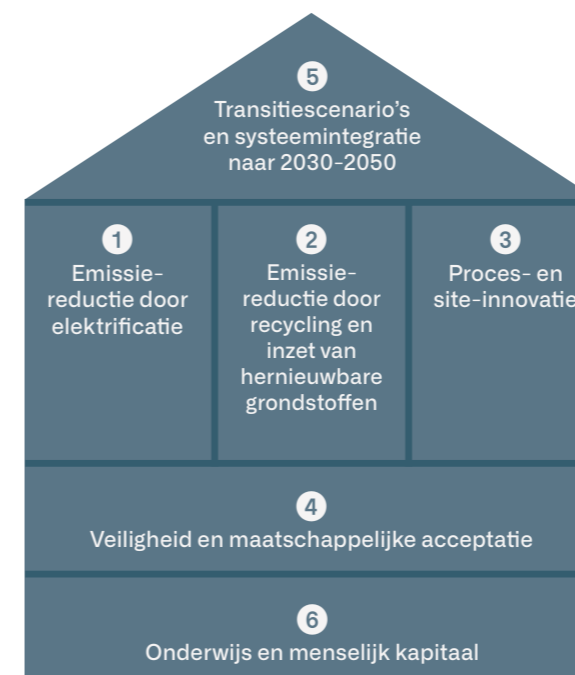
<sup>5</sup> <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2017/01/24/grondstoffenakkoord-intentievereenkomst-om-te-komen-tot-transitieagenda-s-voor-de-circulaire-economie>

<sup>6</sup> [https://nl.wikipedia.org/wiki/Kolencentrales\\_in\\_Nederland](https://nl.wikipedia.org/wiki/Kolencentrales_in_Nederland). Een kolencentrale voor 0.8 GW elektriciteit en 40% rendement op elektriciteit verbruikt jaarlijks ca. 2 megaton steenkool bij een emissie van 6.5 megaton CO<sub>2</sub>

## 2.4. Brightsite Innovatieprogramma

Om de, voor de energie- en grondstoffentransitie, benodigde innovaties mogelijk te maken is er nog veel verdergaand onderzoek, ontwikkeling, opschaling en afstemming met belanghebbenden op en rond Chemelot nodig. Voor de ondersteuning en invulling van hiervoor benodigde ontwikkelingen is op Chemelot in 2019, op initiatief van Brightlands Chemelot Campus met Sitech, TNO en Universiteit Maastricht het Brightsite<sup>7</sup> samenwerkingsverband opgericht. Het Brightsite-programma is niet uitsluitend gericht op de emissie van broeikasgassen op Chemelot, maar heeft ook aandacht voor veiligheid en de hiervoor benodigde ontwikkelingen en (klimaat)effecten bij toeleveranciers van grondstoffen, afnemers van producten, maatschappelijke belanghebbenden en overheden. Tevens wordt met een hier op toegesneden educatieprogramma gewerkt aan de opleiding van een voor realisatie hiervan benodigde nieuwe generatie onderzoekers en medewerkers. Voor het door Brightsite te coördineren en uit te voeren innovatie- en educatieprogramma zijn door de partners, Chemelot-bedrijven en de provincie Limburg structureel financiële middelen beschikbaar gesteld. De door Brightsite uitgevoerde activiteiten en hierdoor verkregen inzichten worden hierna toegelicht.

Figuur 4 geeft een schematisch overzicht van de opbouw en samenhang van de verschillende onderdelen van het Brightsite-programma. Hierin is weergegeven dat de technologische vernieuwingen voor verdergaande reductie van broeikasgasemissies voortkomen uit de deelprogramma's op het gebied van Elektrificatie (1), Vervanging van grondstoffen (2) en Proces- en site-innovatie (3). Tevens is zichtbaar gemaakt dat de ontwikkeling en toepassing van hiervoor benodigde innovaties hun basis hebben in een daarbij passende opleiding van onderzoekers en medewerkers (6). Daarnaast is aangegeven dat de technische innovaties alleen zinvol zijn als ze op een veilige en door de maatschappij geaccepteerde manier worden ontwikkeld en toegepast (4). Het totaal van de uit de voornoemde programma's voortkomende (on)mogelijkheden, is bepalend voor de in programma (5) ontwikkelde samenhangende transitie-scenario's die nodig zijn om de verdergaande emissiereducties tijdig, economisch én maatschappelijk verantwoord te kunnen realiseren.



Figuur 4: Samenhang van Brightsite programmalijnen

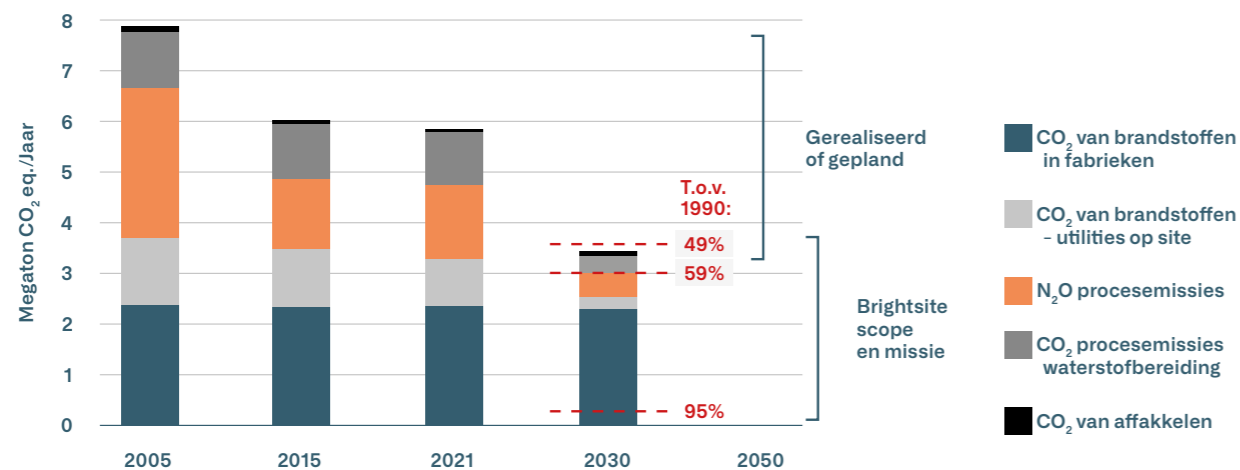
In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op de inmiddels door Brightsite verkregen inzichten en daaruit voortkomende hoofdlijnen en focus van het innovatieprogramma. Op de Brightsite website wordt hieromtrent meer gedetailleerde en geactualiseerde achtergrondinformatie gegeven.

<sup>7</sup> Zie [www.brightsitecenter.com](http://www.brightsitecenter.com)

### 3. Chemelot in transitie

#### 3.1. Chemelot: Verleden, huidige situatie en opties tot 2030

In onderstaande figuur is de opbouw van de voormalige, huidige en toekomstige ontwikkeling van de scope 1 broeikasgasemissie op Chemelot weergegeven.



Figuur 5: Oorsprong en opties voor vermindering van scope 1 broeikasgasemissie op Chemelot.

Hierin is zichtbaar dat de emissie op Chemelot sinds 2005 al sterk verminderd is, met name door maatregelen om de uitstoot van N<sub>2</sub>O terug te dringen. Om de 2030-doelstellingen te realiseren heeft **Fibrant** inmiddels een investering van ruim 40 miljoen euro gedaan om de aan productie van caprolactam verbonden N<sub>2</sub>O-emissie verder te verlagen met ruim 0,67 Mt CO<sub>2</sub> eq. In aanvulling hierop wordt door **AnQore** een investering voorbereid om voor 2030 de uitstoot van N<sub>2</sub>O bij de productie van acrylonitril met 0,4 Mt CO<sub>2</sub> eq te verlagen. Tezamen leveren deze maatregelen een verdere verlaging van de huidige scope 1 emissie van Chemelot op van ruim 20%.

De enige andere realistische optie om de scope 1 van Chemelot vóór 2030 aanzienlijk te verlagen is gelegen in afvang, transport en opslag van CO<sub>2</sub>. De hiervoor op Chemelot meest in aanmerking komende emissiebron is de CO<sub>2</sub> die vrijkomt bij de huidige productie van waterstof uit aardgas, nodig voor de productie van ammoniak, kunstmest en melamine door OCI. Bij het momenteel door **OCI** gebruikte proces komt jaarlijks bij de productie van ca. 200 kiloton waterstof ongeveer 1 Mt CO<sub>2</sub> in zuivere vorm vrij, die daarmee voor bijna 20% verantwoordelijk is voor de totale scope 1 broeikasgasemissie van Chemelot.

Gezien de termijn waarop alternatieve mogelijkheden realistisch mogelijk zijn, heeft OCI met ondersteuning van Brightsite een plan voorbereid om als tussenoplossing per jaar 0,5 Mt CO<sub>2</sub> (ca. 50% van het totaal) af te vangen en in vloeibare vorm per schip via de Maas naar Europoort te transporteren voor opslag onder de Noordzeebodem. In een later stadium kan dit transport mogelijk per buisleiding plaatsvinden. Afvang, transport en opslag van CO<sub>2</sub> in de (Noordzee) bodem is technisch mogelijk, maar wordt maatschappelijk en politiek vooralsnog niet unaniem ondersteund. Op korte termijn zijn voor OCI echter geen andere emissiebeperkende oplossingen aanwezig die verenigbaar zijn met de continuering van de bedrijfsvoering op Chemelot. Voor de middellange termijn heeft OCI de verwachting dat een steeds groter deel van de benodigde waterstof kan worden afgenomen van producenten die hiervoor gebruik maken van processen waaraan netto minder CO<sub>2</sub>-emissie verbonden is. Een van de eerste opties wordt hierbij mogelijk geboden door de voorbereiding van een investering van ca. 600 M€ op Chemelot door **RWE** voor de bouw van een vergassingsinstallatie waarmee jaarlijks ca. 40 kiloton waterstof kan worden geproduceerd op basis van de verwerking van (Limburgs) restafval. Daarbij wordt weliswaar ook zuivere CO<sub>2</sub> geproduceerd, maar deze is niet op fossiele grondstoffen gebaseerd en kan worden opgevangen, getransporteerd en opgeslagen. Dit levert in potentie

een belangrijke bijdrage aan de reductie van de scope 1 broeikasgasemissie van Chemelot en potentieel zelfs een negatieve emissie. Voor de verdere toekomst kan aansluiting op een (inter) nationaal waterstofnetwerk, bij voorkeur gevoed door met duurzame energie opgewekte waterstof, aanvullende mogelijkheden bieden om klimaatvriendelijk te voorzien in de waterstofbehoefte op Chemelot.

Recent heeft de overheid de doelstellingen voor 2030 verder aangescherpt. Dit zal naar verwachting leiden tot een snellere stijging van de CO<sub>2</sub>-heffing, die de overheid aan de industrie oplegt om reductie van uitstoot van broeikasgassen te bevorderen. Met ondersteuning van Brightsite worden additionele energiebesparende maatregelen geëvalueerd, die op Chemelot kunnen worden doorgevoerd om de nieuwe doelstellingen voor 2030 te behalen.

#### 3.2. Opties en randvoorwaarden voor realisatie doelstellingen 2050

Op basis van de hiervoor beschreven en aanvullende maatregelen wordt verwacht dat op Chemelot de klimaatkoorndoelstelling voor reductie van broeikasgasemissies voor 2030 kan worden behaald. Uit figuur 1.2 is echter tevens duidelijk dat voor het realiseren van de 2050-doelstellingen nog een aanzienlijke verdere verlaging van de CO<sub>2</sub>-emissie nodig is. Hiertoe zal op Chemelot de huidige grootschalige verbranding van aardgas en procesmethaan, dat vrijkomt bij stoomkraken, moeten worden afgebouwd. Hiervoor zijn alternatieve opties technisch denkbaar, maar deze kunnen alleen zinvol worden ontwikkeld en toegepast als hiervoor tijdig voldoende en betaalbare duurzame elektriciteit beschikbaar komt. Chemelot is slechts zeer beperkt in staat de benodigde duurzame (CO<sub>2</sub>-vrije) elektriciteit op de site zelf op te wekken en is voor zijn energietransitie dus afhankelijk van (tijdige) investeringen en leveringszekerheid van externe energieproducenten en netbeheerders.

In aanvulling op de hierboven beschreven energietransitie, die de scope 1 en 2 emissies beperkt, kan een verdere verlaging van de scope 3 emissies worden bewerkstelligd door vervanging van de huidige fossiele grondstoffen: de grondstoffentransitie. Voor gebruik van aardgas als grondstof voor de productie van waterstof op Chemelot zijn op de langere termijn eveneens duurzame alternatieven denkbaar, als in plaats hiervan 'groen' methaan uit niet-fossiele koolstofbronnen wordt gebruikt. Daarnaast is het mogelijk de productie van waterstof uit afval verder op te schalen of te importeren door aansluiting van Chemelot op een (inter)nationaal waterstofnetwerk. Op weg daar naartoe kunnen aardgas en procesmethaan van stoomkrakers naar verwachting ook met behulp van nieuwe, op Brightsite in ontwikkeling zijnde, plasmatechnologie worden omgezet in waterstof en bouwstenen voor de plastic waardeketen (acetyleen, etheen).

Voor de vervanging van fossiele nafta als grondstof moeten tijdig grote hoeveelheden alternatieve niet-fossiele grondstoffen beschikbaar komen. Deze grondstoffentransitie levert een grote bijdrage aan de bredere maatschappelijke transitie naar een circulaire economie, waarbij ernaar wordt gestreefd om zo min mogelijk nieuwe fossiele grondstoffen te gebruiken. Dat kan worden bereikt door koolstofhoudend productafval door mechanische en/of chemische omzettingen weer als grondstof te gebruiken en zo nodig aan te vullen met biograndstoffen. Daarvoor moeten echter grote hoeveelheden koolstofhoudend afval en/of biograndstoffen beschikbaar komen en nieuwe processen worden ontwikkeld.

# Op weg naar een duurzame chemie op Chemelot

Met het Klimaatverdrag van Parijs en het Nederlandse Nationale Klimaatakkoord zijn doelstellingen geformuleerd en maatregelen geïmplementeerd om de uitstoot van broeikasgassen terug te dringen. De Chemelot bedrijven, ondersteund door Brightsite, leveren een belangrijke bijdrage aan de hiervoor benodigde transitie van de chemische industrie met het doel deze klimaatneutraal te maken met behoud van werkgelegenheid.

**Ambitie: Chemelot uit laten groeien tot de meest duurzame, concurrerende en veilige chemie- en materialensite van Europa.**

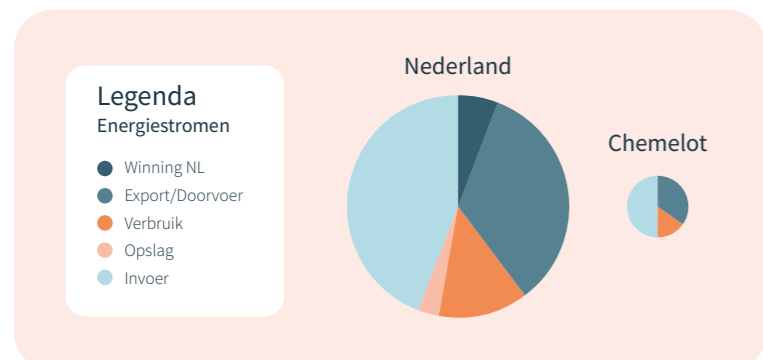
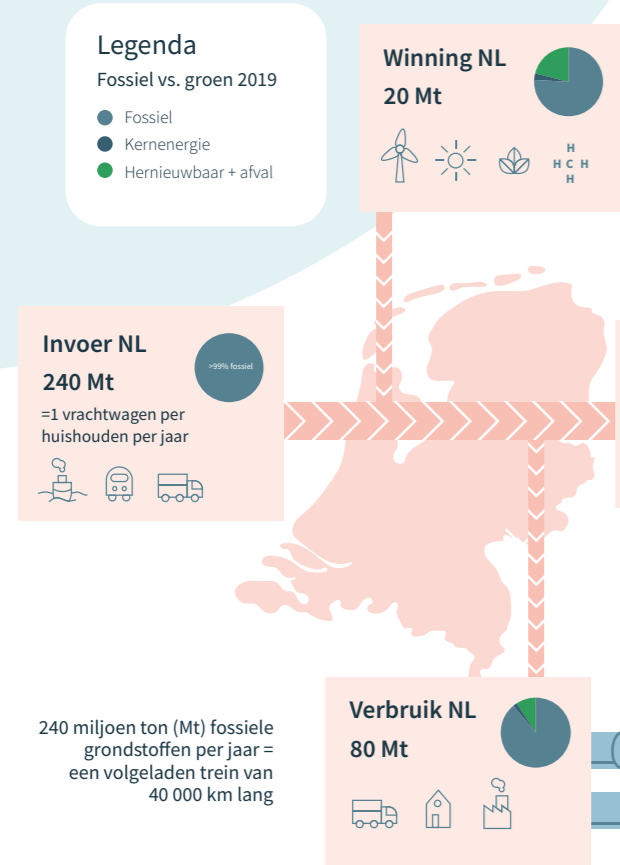
## Sleutelprojecten tot 2030

- SABIC - Aanzet elektrificatie stoomkraken
- SABIC - PLASTIC ENERGY Recycling
- FIBRANT, ANQORE - Lachgas, emissiereductie
- OCI - CO<sub>2</sub> emissiereductie
- CHEMELOT - Optimaliseren waterketen

- Transitiescenario's en systeemintegratie
- Veiligheid en maatschappelijke acceptatie
- Emissiereductie door elektrificatie
- Emissiereductie door vervanging van nafta en aardgasgebruik
- Proces- en site-innovatie
- Onderwijs en menselijk kapitaal

**2050**  
Klimaatneutraal  
Emissie tot 0% reduceren

- Randvoorwaarde**  
Duurzame elektriciteitsvoorziening
- Randvoorwaarde**  
Beschikbaarheid groene grondstoffen
- Randvoorwaarde**  
Stimulerende regievoering overheid



**Verbruik op site 70 PJ**

1 PJ energie brengt 1200 olympische zwembaden aan de kook

**Invoer op site**

4 Mt olieproducten  
1 Mt aardgas  
4 PJ elektriciteit

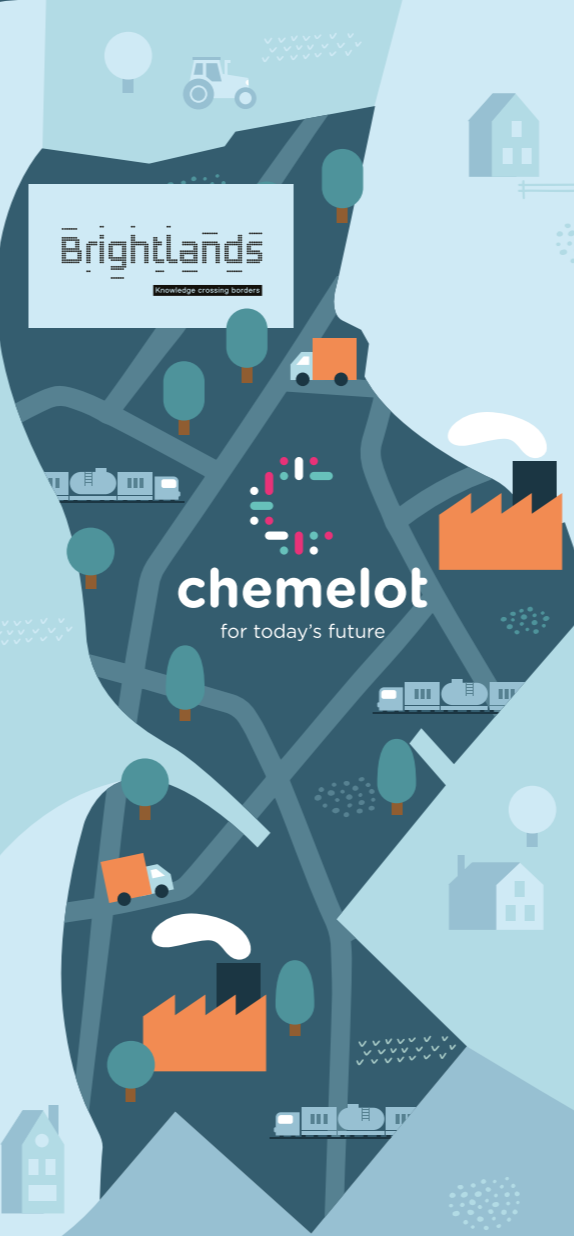
4 Mt olie = 1000 kranen continu wijd open

**Uitstoot vanaf site 5,8 Mt CO<sub>2</sub>-equivalenten**

3% van totale uitstoot NL

**Uitvoer Fertilizers & plastics Ruim 5 Mt**

1 Mt plastic korrels van 4 mm = aaneengeregen een ketting ter lengte 80 x op en neer naar de maan



## 4. Opties, keuzes en vooruitzichten

### 4.1. Inleiding

Zoals in hoofdstuk 2 aangegeven is op Chemelot (en vergelijkbare industriële sites) zowel een energietransitie als een grondstoffentransitie nodig om de Chemelot scope 1 emissie in 2050 tot 0 te kunnen reduceren. Dat geldt zoals beschreven eveneens voor de Chemelot downstream scope 3 emissies, waarvoor nu nog géén overheidsbeleid is ontwikkeld. In hoofdstuk 3 is kort beschreven dat de belangrijkste technologische pijlers hiervoor geleverd worden door gebruik van (duurzame) elektriciteit en circulair (her)gebruik van niet-fossiele uitgang- en afvalmaterialen. Om deze wijzigingen veilig en economisch verantwoord te kunnen toepassen en op basis daarvan de benodigde productkwaliteit te verkrijgen, zullen vele hieraan verbonden deelprocessen wijzigingen ondergaan. Deze zullen gezamenlijk uiteindelijk leiden tot een volledige transitie van de Chemelot site en de wijze waarop vanaf de 2<sup>e</sup> helft van de 21<sup>e</sup> eeuw chemische processen op industriële schaal worden bedreven. In de navolgende paragrafen wordt meer in detail ingegaan op de achtergrond en invalshoeken van de door Brightsite onderscheiden technologische, maatschappelijke en educatieve aanknopingspunten. Hierbij wordt waar mogelijk steeds kwantitatief aangegeven wat het concrete vooruitzicht is op emissiereductie op Chemelot en welke specifieke bijdrage hieraan door uitvoering van het Brightsite-programma is voorzien.

### 4.2. Elektrificatie

#### 4.2.1. Opties voor Chemelot

##### *Elektrische verwarming van installaties*

Gezien de goede beschikbaarheid en tot voor kort relatief lage kosten, wordt in de chemische industrie momenteel op grote schaal aardgas gebruikt voor de verhitte van procesinstallaties en de productie van stoom. Bij de verbranding van aardgas ontstaat op Chemelot jaarlijks ruim 2 megaton CO<sub>2</sub>. Gezien de relatief lage concentratie van CO<sub>2</sub> in de verbrandingsgassen, is afvang en opslag van CO<sub>2</sub> hierbij geen technisch, economisch haalbare optie. Een CO<sub>2</sub>-emissie die kan worden vermeden als er, net als in de huishoudelijke omgeving, wordt overgestapt op elektrisch verwarmen met (duurzaam opgewekte) elektrische energie. Op grond van een door Brightsite uitgevoerde inventarisatie zijn voor de korte en (middel)lange termijn elektrificatie opties geïdentificeerd waarmee de scope 1 broeikasgasemissie op Chemelot t.o.v. 2015 uiteindelijk met ca. 40% kan worden gereduceerd.

Een eerste, nog bescheiden stap zal op korte termijn gemaakt worden bij de productie van stoom. Hiervoor is door **USG** dat op Chemelot de productie, distributie en levering van elektriciteit, stoom en gasen verzorgt, een investering van 6 miljoen euro voorbereid voor ingebruikname van een elektrische stoomketelinstallatie die vanaf 2023 een reductie van 9 kiloton CO<sub>2</sub>-eq. emissie per jaar oplevert.

Voor een veel omvangrijkere CO<sub>2</sub>-reductie van ca. 1,6 megaton, moet op Chemelot worden overgestapt op elektrisch kraken van nafta (of vervangende niet-fossiele grondstoffen) voor productie van de grondstoffen voor polyetheen en polypropreen. Hiervoor is de ontwikkeling van een geheel nieuwe generatie kraakinstallaties nodig waaraan investeringen van meer dan 1 miljard euro verbonden zijn. Deze uitdaging is in de afgelopen jaren door diverse internationale consortia gezamenlijk opgepakt. Het op Chemelot actieve **SABIC** werkt hiertoe samen met **BASF** en **Linde**<sup>8</sup> en in Nederland is op dit gebied sinds 2020 tevens een consortium van **Dow** en **Shell** actief<sup>9</sup>. Daarnaast staat dit onderwerp al sinds 2018 op de Europese agenda van het “Cracker of the Future” consortium, waarin **Borealis**, **Total**, **Repsol** en **Versalis** samenwerken<sup>10</sup>. Gezien wat er nog nodig is voor de ontwikkeling en bouw van deze nieuwe generatie kraakinstallaties op Chemelot is de hierdoor mogelijke emissiereductie niet voor 2040 te verwachten.

<sup>8</sup> <https://www.basf.com/global/en/media/news-releases/2021/03/p-21-165.html>

<sup>9</sup> <https://corporate.dow.com/en-us/news/press-releases/dow-shell-electric-cracking-technology.html>

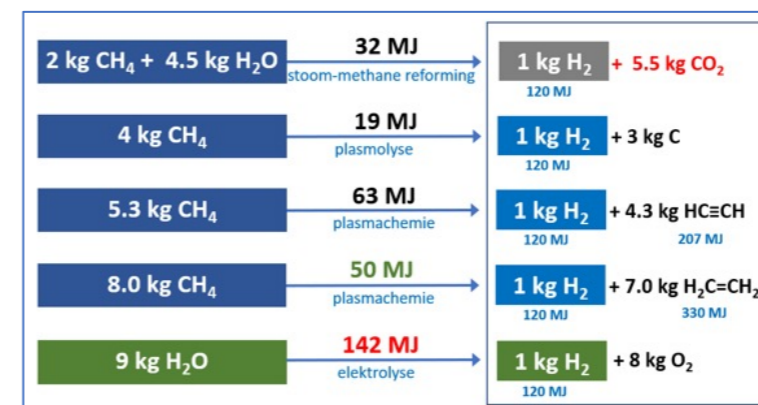
<sup>10</sup> <https://insights.globalspec.com/article/17484/new-cracking-tech-to-decarbonize-olefin-production>

### *Elektrische productie van waterstof*

Naast als energiebron voor verhitte van Chemelot, zoals al in hoofdstuk 3 beschreven, door **OCI** grootschalig aardgas gebruikt als grondstof voor de productie van waterstof. Bij het hiervoor momenteel toegepaste proces komt een grote hoeveelheid CO<sub>2</sub> als procesgas vrij<sup>11</sup> dat, zoals in figuur 3.1 weergegeven, voor bijna 20% verantwoordelijk is voor de totale broeikasgasemissie van Chemelot. In principe kan waterstof met commercieel beschikbare elektrolyse-technologie CO<sub>2</sub>-emissievrij uit water worden geproduceerd als daarvoor duurzame elektriciteit wordt gebruikt. Omdat waterstof in water sterk gebonden is aan zuurstof, is hiervoor echter relatief veel elektrische energie nodig. Gezien de huidige nog beperkte beschikbaarheid en kostprijs van op deze wijze geproduceerde waterstof is dit voor Chemelot vooralsnog geen toepasbaar alternatief. Een door Brightsite onderzocht mogelijk efficiënter alternatief is gelegen in de productie van waterstof uit methaan zonder CO<sub>2</sub> emissie met behulp van elektrisch aangedreven plasmatechnologie.

#### 4.2.2 Brightsite focus

Uit door Brightsite uitgevoerd haalbaarheidsonderzoek is gebleken dat het met behulp van plasmatechnologie mogelijk is om waterstof uit methaan vrij te maken zonder vorming van CO<sub>2</sub>. Een plasma bestaat uit een gas waarin deeltjes met hoge energie aanwezig zijn, zoals op natuurlijke wijze gevormd in vlammen en bliksemschichten. Voor kunstmatige en gecontroleerde opwekking van plasma's zijn diverse elektrisch aangedreven methoden ontwikkeld en op industriële schaal beschikbaar. Hiermee kunnen materialen en oppervlakken worden bewerkt of chemische processen in een reactor geactiveerd. Voor de vorming van een plasma is geen zuurstof nodig. Koolstofhoudende verbindingen zoals methaan verbranden daardoor niet en kunnen zonder vorming van CO<sub>2</sub> worden omgezet in voor de chemische industrie waardevolle verbindingen zoals waterstof en acetyleen of etheen. De waarde van het in aardgas (of methaan uit kraakprocessen) aanwezige koolstof gaat daardoor niet meer als CO<sub>2</sub> verloren door emissie naar de atmosfeer. Door de zwakkere binding van waterstof in methaan kost het vrijmaken hiervan, ten opzichte van de hiervoor beschreven elektrolyse van water, ca. 85% minder energie. Indien direct andere producten dan koolstof worden gevormd is weliswaar meer energie nodig, maar worden naast waterstof ook meer waardevolle bijproducten zoals acetyleen of etheen gevormd. In figuur 6 wordt een overzicht gegeven van de energie nodig voor de productie van waterstof uit methaan en water met het momenteel toegepaste SMR<sup>12</sup> en alternatief mogelijke elektrolyse en plasmolyse processen.

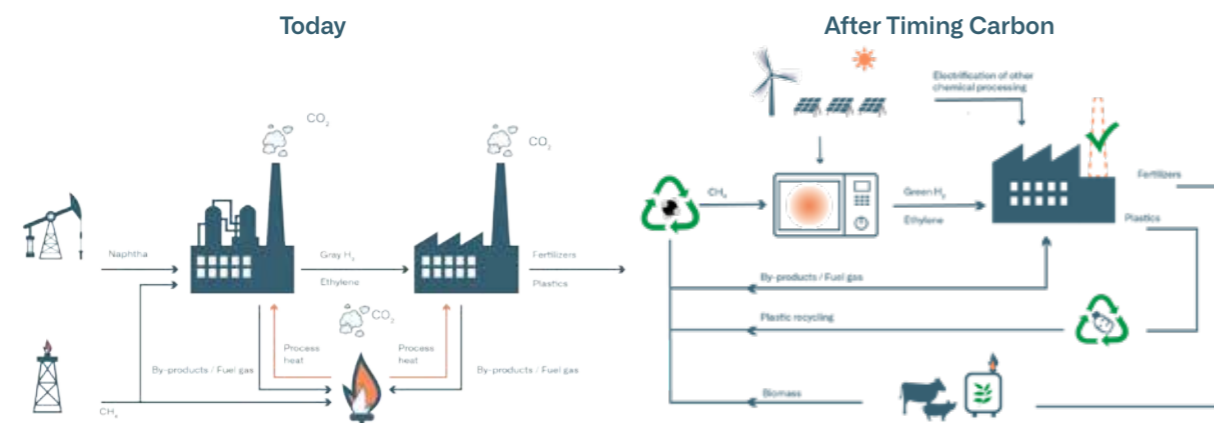


Figuur 6: Vergelijking van energie nodig voor productie van waterstof uit methaan en water met momenteel toegepaste (SMR) en alternatief mogelijke elektrolyse en plasmolyse processen.

<sup>11</sup> De reactie  $\text{CH}_4 + \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \frac{1}{2}\text{H}_2$  produceert CO<sub>2</sub> als reactieproduct: procesgas. Daarnaast ontstaat CO<sub>2</sub> doordat aardgas wordt verbrand om de voor deze reactie benodigde energie te leveren: dit is rookgas. Beide vallen onder scope 1. Elektrificatie van SMR elimineert alleen het rookgas.

<sup>12</sup> Steam Methane Reforming

Op basis van plasmatechnologie is het specifiek op Chemelot denkbaar om uit methaan zowel waterstof voor OCI als etheen voor SABIC te produceren, met daaraan verbonden synergie en schaalvoordelen. Als bron van methaan kan vooralsnog (CO<sub>2</sub>-vrij) aardgas worden gebruikt, maar deze route biedt ook een alternatief gebruik van het methaan dat (onvermijdelijk) voor ca. 15% als procesgas wordt gevormd bij hiervoor beschreven kraakprocessen. Momenteel wordt dit procesgas samen met fossiel aardgas verbrand voor de verhitting van het kraakproces met de daaraan verbonden CO<sub>2</sub>-emissie. Bij toekomstige elektrificatie van het kraakproces ontstaat daardoor potentieel een groot methaanoverschot op Chemelot, dat met behulp van een plasmaproces, zonder emissie van CO<sub>2</sub>, in voor de chemische industrie waardevolle producten kan worden omgezet. Het mag duidelijk zijn dat dit op Chemelot sterk kan bijdragen aan de economische toepasbaarheid van het door SABIC beoogde elektrisch kraakproces. De daarmee mogelijke transitie op Chemelot is in figuur 7 schematisch weergegeven.



Figuur 7: Schematische weergave van de overgang naar een CO<sub>2</sub>-vrije circulaire keten op basis van plasmatechnologie.

Voor diepgaander onderzoek, de 'safe by design' ontwikkeling en opschaling van het plasmaproces en verkenning van verwante mogelijke toepassingen binnen en buiten Chemelot heeft de Universiteit Maastricht een nieuwe leerstoel Plasmachemie ingericht waarvoor in mei 2021 professor Gerard van Rooij is aangesteld<sup>13</sup>. Voor de uitvoering van het experimentele onderzoek hebben de Brightsite-partners een gezamenlijke plasmatechnologie groep gevormd en is in november 2021 op Brightlands Chemelot Campus een daartoe specifiek ingericht plasmalab geopend. Het onderzoeksprogramma en bijbehorende faciliteiten zijn gericht op 3 elkaar aanvullende innovatie- en toepassingsvensters tot 2050. Op basis hiervan worden zowel de fundamentele mogelijkheden als de toepasbaarheid en daaraan verbonden opschaling en toepassing van plasmatechnologie onderzocht.

#### 4.2.3 Impact op Chemelot

Door volledige elektrificatie van de diverse verwarmingsprocessen en productie van waterstof in combinatie met energiebesparingen kan op Chemelot een vrijwel volledige reductie van de huidige hierdoor veroorzaakte scope 1 CO<sub>2</sub>-emissie worden bereikt. Op basis hiervan kan de totale scope 1 broeikasgasemissie van Chemelot in 2050 dalen tot 0,4 Mt CO<sub>2</sub>-eq., waarmee deze ten opzichte van 1990 met 95% afneemt.

Omzetting van methaan door middel van plasmatechnologie wordt door Brightsite gezien als een potentiële 'game changing' technologie, waarmee de huidige CO<sub>2</sub> emissie van de chemische industrie kan worden verlaagd en tevens koolstof in de kringloop van een circulaire economie kan worden gehouden. Op basis van plasmatechnologie zal er naast methaan wellicht ook koolstofhoudend nafta en afvalplastic economisch kunnen worden omgezet. Daarnaast is deze technologie een mogelijk toepasbaar alternatief ter verlaging van de broeikasgasemissies van de industriële stikstofchemie. Gedacht wordt aan de plasma-geactiveerde vorming van HCN

als bouwsteen voor o.a. ABS en andere stikstofhoudende kunststoffen voor hoogwaardige toepassingen. Ook de vorming van ammoniak (NH<sub>3</sub>) en NOx als grondstof voor kunstmest behoort tot de mogelijkheden, alsmede omzetting van NH<sub>3</sub> bevattende reststromen. Gezien de aard van de ontwikkelingen liggen er rondom de ontwikkeling en industriële toepassing van plasmatechnologie extra mogelijkheden door koppeling van Chemelot met de internationaal leidende Nederlandse hightech industrie.

Voor de vervanging van het huidige gebruik van aardgas en methaan uit het kraakproces en de productie van waterstof op Chemelot door elektrificatie, zijn zeer grote hoeveelheden elektriciteit nodig, die vooralsnog niet beschikbaar en voorzien zijn. Voor productie, transport en gebruik van de jaarlijks benodigde 0,7-1,7 Gigawatt<sup>14</sup> elektriciteit zijn op en buiten Chemelot grootschalige investeringen in elektriciteitsopwekking, transportverbindingen en aanverwante infrastructuur nodig. Om tijdig en duurzaam in deze en vergelijkbare elektriciteitsbehoeften in andere industriële (koploper) regio's te voorzien, is een nationale aanpak nodig. Indien uiteindelijk, tijdig voldoende elektriciteit beschikbaar komt, kan de scope 1 broeikasgasemissie op Chemelot aanzienlijk worden verlaagd. De CO<sub>2</sub>-emissie die verbonden is aan de opwekking en transport van elektriciteit telt voor Chemelot wel weer mee als scope 2 emissie. Voor geheel Nederland is deze onderdeel van de scope 1 emissie. Om een waterbedeefte te vermijden, waarbij de scope 1 emissie van Chemelot daalt, maar daarbuiten toeneemt, moet de opwekking van de benodigde elektriciteit een zo laag mogelijke emissie veroorzaken en dus duurzaam en zo CO<sub>2</sub>-eq.-vrij mogelijk worden opgewekt.

### 4.3. Vervanging van fossiele grondstoffen

#### 4.3.1. Opties voor Chemelot

##### Scope 3 ambitie

Zoals in hoofdstuk 1 uiteengezet is de taakstelling van het Nationale Klimaatakkoord voor Chemelot strikt genomen beperkt tot vermindering van de scope 1 emissie die door de bedrijven op de site zelf wordt veroorzaakt bij de vervaardiging van producten. De veel omvangrijkere scope 3 emissie verbonden aan winning en transport van fossiele grondstoffen, alsmede het gebruik en de uiteindelijke afvoer en verbranding van hiermee vervaardigde producten, valt daarbuiten. Gezien de hieraan verbonden klimaatimpact en toenemend consumentenbewustzijn wordt door de bedrijven op Chemelot en in het Brightsite-programma echter nadrukkelijk ook aandacht gegeven aan de mogelijkheden om de scope 3 emissie te verminderen. De basis hiervoor wordt geleverd door (her)gebruik van kunststof of huishoudelijk afval en biograndstoffen. Bij (her)gebruik van deze grondstoffen ontstaat gezien hun oorsprong geen netto toename van CO<sub>2</sub> en telt deze niet mee als scope 1 emissie. Ondanks deze duidelijke 'groene' klimaateffecten, staat het gebruik van kunststofafval voor de chemie nog ter discussie gezien het hiermee gepaard gaande (weg)transport en de mogelijke overlast door stank en ongedierte bij opslag van grote hoeveelheden (vervuild) afval.

Om bruikbaar te zijn als volwaardige vervanger moeten deze alternatieve uitgangsmaterialen veelal bij hoge temperatuur worden omgezet in vloeibare en gasvormige producten, die in de huidige processen bruikbaar zijn als alternatieve grondstof of uitgangproduct<sup>15</sup>. De activiteiten die in het kader van deze grondstoffentransitie worden uitgevoerd en de mogelijke impact op de scope 3 emissie van Chemelot worden hierna toegelicht.

##### Hergebruik van kunststofafval

Voor het hergebruik van kunststofafval zijn diverse elkaar aanvullende technologieën in ontwikkeling. Gemeenschappelijke noemer hierbij is dat de (her)bruikbare bestanddelen eerst

<sup>13</sup> <https://www.maastrichtuniversity.nl/nl/nieuws/benoeming-profdr-gerard-van-rooij-tot-hoogleraar-plasma-chemistry>

<sup>14</sup> Cluster Energie Strategie Chemelot (CES Chemelot), 31 maart 2021

<sup>15</sup> Zogenaamde "commodity chemicals" die door de chemische industrie wereldwijd in grote hoeveelheden en standaard kwaliteit geproduceerd en gebruikt worden.

middels een mechanisch proces worden gescheiden en indien nodig chemisch worden omgezet om de benodigde zuiverheid en kwaliteit te verkrijgen.

Voor de vermindering van het huidige gebruik van, uit fossiele aardolie geproduceerde, nafta hebben **SABIC** en **Plastic Energy** op basis van een investering van ca. 200 M€ de bouw van een proeffabriek op Chemelot voorbereid<sup>16</sup>. Hiermee zal het op jaarbasis mogelijk zijn om 20 kiloton kunststofafval te hergebruiken als grondstof voor fabricage van polyetheen, polypropreen, PVC, elastomeren en acrylonitril. Om deze belangrijke eerste stap in perspectief te zetten moet worden aangegeven dat opschaling met een factor 200 nodig zal zijn om het huidige gebruik van fossiele nafta te vervangen. Een te voorziene beperking is hierbij dat voor dit soort grootschalig gebruik van plastic afval veel andere toepassingen en gegadigden denkbaar zijn<sup>17</sup>, wat maakt dat de toekomstige markt hiervoor krap zal zijn.

#### *Gebruik van biograndstoffen*

Naast recycling van kunststofafval is het gebruik van CO<sub>2</sub>-neutrale biograndstoffen één van de belangrijkste in aanmerking komende alternatieven. Biograndstoffen wordt geoogst uit op natuurlijke wijze gevormde of door bewuste landbouw geproduceerde houtige of plantaardige materialen. Momenteel worden deze producten als biomassa verbrand in elektriciteitscentrales of, omgezet tot ethanol, toegevoegd aan autobrandstof. Dit kort-cyclisch gebruik van biograndstoffen als alternatieve brandstof werd door de overheid gestimuleerd, gezien de optie voor het op korte termijn terugdringen van emissies van fossiele brandstoffen. Gezien de weliswaar 'groene', maar relatief hoge CO<sub>2</sub>-emissie en de maatschappelijke en klimaateffecten bij productie en transport, staat het gebruik van biograndstoffen als brandstof recent steeds meer onder maatschappelijke en politieke druk en worden subsidies afgebouwd.

Het gebruik van biograndstoffen als alternatieve grondstof voor vervanging van fossiele aardolie en aardgas in de chemische industrie biedt echter veel duurzamere mogelijkheden, omdat dit gecombineerd kan worden met recycling van de op basis hiervan te vervaardigen producten. Hiermee kan de 'biogene' koolstof in principe zeer lang in de op basis hiervan vervaardigde producten worden vastgelegd. Gezien dit positieve perspectief worden door de chemische industrie en toeleverende bedrijven al veel inspanningen gepleegd. Voor gebruik van biograndstoffen zijn diverse bronnen en technologieën beschikbaar en in ontwikkeling<sup>18</sup>.

#### *CO<sub>2</sub> als grondstof*

Een ultieme maar waarschijnlijk pas op zeer lange termijn mogelijke oplossing voor vervanging van de huidige fossiele grondstoffen, is het maken van alternatieve grondstoffen uit CO<sub>2</sub> en duurzaam geproduceerde waterstof. Hiervoor is de commerciële technologie beschikbaar, maar deze vereist zeer veel duurzame energie en kan daardoor vooralsnog alleen voor demonstratieprojecten<sup>19</sup> worden toegepast. Naarmate meer en goedkopere duurzame energie beschikbaar komt, zullen de toepassingsmogelijkheden toenemen. In de verre toekomst kan mogelijk ook aan de atmosfeer onttrokken CO<sub>2</sub> worden omgezet, waarmee in principe volledige circulariteit van het gebruik van niet-fossiele grondstoffen kan worden bewerkstelligd.

#### **4.3.2. Brightsite focus**

##### *Voorbehandeling van kunststofafval*

Gezien de stand van zaken en vooruitzicht op toepassing is het Brightsite-programma primair gericht op de ontwikkeling van voorbehandelingsmethoden om gemengde en/of verontreinigde

kunststofafvalstromen of biomassa (beter) geschikt te maken als alternatieve grondstof. Op Chemelot is dit nodig om een groter deel van de afvalstromen geschikt te maken voor vervaardiging van met name polyetheen door **SABIC**. De omzetting gebeurt met zogenaamde pyrolyseprocessen waarmee kunststofafval bij hoge temperatuur wordt omgezet in een 'groene' olie die bruikbaar is als vervanging van fossiele nafta.

Het momenteel beschikbare plastic afval is slechts voor een klein deel direct geschikt voor omzetting tot pyrolyse-olie voor een naftakraker. Een grotere stroom (gesorteerd) kunststofafval bevat weliswaar veel bruikbare kunststof, maar is vermengd met een te grote hoeveelheid andere kunststof materialen en vervuiling om geschikt te zijn voor bovengenoemde toepassing. Brightsite werkt aan de ontwikkeling van voorbehandelingsmethoden om bruikbare en waardevolle bestanddelen uit het plasticafval terug te winnen en af te scheiden. Gezien de fundamentele vraagstellingen hieraan verbonden, is in 2020 een academische samenwerking gestart met de groep van prof. Weckhuysen van de Universiteit Utrecht en is voor verdere versterking van dit onderzoeksgebied een nieuwe leerstoel **Circular Engineering** bij de **Universiteit Maastricht** ingericht waarvoor prof. Kim Ragaert in september 2021 is aangesteld<sup>20</sup>. In aanvulling hierop wordt voor de toekomst nagegaan in hoeverre plasmatechnologie zou kunnen worden toegepast bij plastic recycling. Een eerste literatuurstudie hieromtrent is afgerond en wordt in 2022 vertaald in een nadere evaluatie van een eerste concept van een dergelijk proces.

#### *Gebruik van biograndstoffen*

Op het gebied van gebruik van biograndstoffen heeft Brightsite in 2020 een eerste studie afgerond om de diverse toepassingsmogelijkheden op Chemelot in kaart te brengen. Op basis hiervan wordt nader onderzocht in hoeverre de inzet van biograndstoffen voor de productie van waterstof voor **OCI** en bionafta voor **SABIC** kan bijdragen aan de vergroening van andere productketens op Chemelot. Als onderdeel hiervan wordt met **Fibrant** onderzocht of het mogelijk is de ca 500 kiloton fenol die jaarlijks als grondstof voor nylonproductie gebruikt wordt te 'vergroenen' door de inzet van uit biomassa verkregen alternatieve grondstof. Bij een eventueel vervolg zal nadrukkelijk worden samengewerkt met organisaties specifiek gericht op de toepassing van biograndstoffen.

#### *Conversiemethoden*

Voor het omzetten van afvalstoffen en biograndstoffen in voor Chemelot bruikbare gasvormige en vloeibare uitgangsstoffen worden door diverse externe partijen vergassing en pyrolysetechnieken aangepast en ontwikkeld. Brightsite houdt contact met deze ontwikkelaars om zicht te houden op de praktisch toepasbaarheid op Chemelot. Waar nodig en mogelijk zal worden bijgedragen aan beproeving op industrieel relevante schaal en daarvoor benodigde technische aanpassingen. Ook hier evalueert en kwantificeert Brightsite de gevolgen voor wat betreft het effect op scope 1, 2 en 3 -emissies van Chemelot en Nederland en de daaraan verbonden impact op het klimaat.

#### **4.3.3. Impact op Chemelot**

Momenteel wordt op Chemelot voor de productie van kunststoffen per uur ca. 450 ton uit fossiele aardolie vervaardigde nafta verwerkt, die vanuit raffinaderijen in Europoort en Antwerpen via pijpleidingen wordt aangevoerd. Door Brightsite is vastgesteld dat de hieraan verbonden scope 3 broeikasgasemissie in 2050 in principe volledig kan worden gereduceerd door (her) gebruik van afval biograndstoffen. De hiervoor in de regio Chemelot beschikbare hoeveelheid afval en biograndstoffen is echter bij lange na niet voldoende of geschikt om dit logistiek en economisch op Chemelot te kunnen realiseren. Daar komt bij dat er meerdere sites in Nederland en buurlanden zijn die naar verwachting voor deze transitie in toenemende mate aanspraak maken op deze alternatieve grondstofbronnen. Op Chemelot kan wel inzicht worden verkregen in veiligheids-, gezondheids- en maatschappelijke aspecten en ervaring worden opgedaan met de

<sup>16</sup> <https://www.sabic.com/en/news/26247-sabic-and-plastic-energy-set-to-start-construction-of-pioneering-advanced-recycling-unit>

<sup>17</sup> Zie bijvoorbeeld <https://www.vemw.nl/Nieuwsoverzicht/2021-05-20-Buisleidingen-ARRRA-Chemelot.aspx> voor de positie van Chemelot in het Noord-West Europese ARRRRA-cluster voor chemie en materialen

<sup>18</sup> <https://www.shell.nl/media/venster/shell-bouwt-grote-installatie-voor-biobrandstoffen.html>

<sup>19</sup> <https://www.wattisduurzaam.nl/32692/energie-besparen/transport/drie-badkuipen-verkiezingskerosine-graag>

<sup>20</sup> <https://brightsitecenter.com/kim-ragaert-joins-fse-as-the-new-chair-of-circular-plastics>

ontwikkeling en vervaardiging op pilot- en demoschaal. De uiteindelijke grootschalige conversie van afval- en biograndstoffen zal grotendeels extern moeten geschieden, zoals nu ook het geval is bij de raffinage van fossiele ruwe aardolie. In de verdere toekomst komt mogelijk ook hergebruik van CO<sub>2</sub> in aanmerking. Voor de organisatie en uitvoering hiervan zijn – net als voor de duurzame elektrificatie infrastructuur – nieuwe partnerships, initiatieven en regie op (inter)nationale schaal noodzakelijk. Chemelot kan hier gezien de combinatie van een industriële site en innovatieve campus op Europese schaal een prominente rol vervullen. Om deze optie met partners in de regio Chemelot gezamenlijk in te vullen is in 2021 het **Chemelot Circular Hub**<sup>21</sup> initiatief vormgegeven dat in annex 2 wordt toegelicht.

#### 4.4. Proces- en site-innovatie

##### 4.4.1. Opties voor Chemelot

###### *De geïntegreerde site van de toekomst*

Op Chemelot zijn momenteel meer dan 17 zelfstandige bedrijven met ca. 60 fabrieken actief. De door hen gebruikte procesinstallaties en het hieraan gekoppelde management van energie-, grondstof-, product- en reststromen zijn vanuit het DSM-verleden nog steeds verregaand geïntegreerd. Chemelot onderscheidt zich hiermee van de meeste andere chemische sites en kan in vergelijking daarmee samenhang en efficiency van de afzonderlijke activiteiten beter benutten. De in de voorgaande paragrafen beschreven energie- en grondstoffentransities en daarvoor benodigde aanpassingen op en buiten de site, vereisen een integrale en samenhangende aanpak. Chemelot is daarom bij uitstek geschikt als broedplaats en proeftuin voor innovatie-initiatieven. Het Brightsite-programma heeft, naast de hiervoor beschreven op elektrificatie en niet-fossiele grondstoffen gerichte programma's, een derde integrale proces- en sitegerichte innovatiepijler.

In dit proces- en site-innovatieprogramma wordt aandacht besteed aan de identificatie en ontwikkeling van 'site qualifiers' waarmee Chemelot zich in de toekomst als beoogd kan onderscheiden als de meest veilige, duurzame en efficiënte site van Europa en daarmee attractief wordt voor investeerders in de grootschalige uitrol van duurzame technologieën op de site. Brightsite werkt hierbij nauw samen met **Business Development** van **Chemelot** en met **Brightlands Chemelot Campus**. Onderwerpen die tot nu toe aandacht hebben gekregen worden hierna nader toegelicht.

###### *Reductie van procesemissies*

Om de mogelijke emissiereductie van CO<sub>2</sub> en ander broeikasgassen vast te stellen zijn in het Brightsite-programma de opties voor aanpassing van de huidige procesinstallaties op Chemelot in kaart gebracht en adviezen opgesteld ter ondersteuning van de keuze tussen mogelijke alternatieven. De toepassing van verdergaande opties voor afvang en opslag van CO<sub>2</sub> zijn vooral afhankelijk van het beschikbaar komen van infrastructuur voor transport vanaf Chemelot via externe pijpleidingen. Gezien de provinciale en landelijke impact is de beschikbaarheid hiervan in grote mate afhankelijk van externe besluit- en consortiumvorming. Voor het gebruik van CO<sub>2</sub> als grondstof is vastgesteld dat daarvoor een dusdanig grote hoeveelheid extra elektriciteit nodig is, dat dit bovenop de nu al voorziene vraag voor elektrificatie niet realistisch is. Evenzo is gebleken dat de verdere ontwikkeling van technologie ter voorkoming van de vorming van N<sub>2</sub>O gezien de reeds uitgevoerde en voorziene investeringen niet loont. Tot slot is vastgesteld dat in een latere fase, als door elektrificatie minder stoom nodig is op de site, door de omzetting of hergebruik van restgassen nog een significante reductie van CO<sub>2</sub> emissie op Chemelot mogelijk is.

###### *Gebruik van restwarmte*

Zoals in figuur 2.3 aangegeven wordt op Chemelot momenteel jaarlijks 70 petajoule (PJ)<sup>22</sup> restwarmte uitgestoten via de emissie van vooral lage temperatuur rookgassen, opgewarmde lucht en waterdamp. Benutting van een deel van deze restwarmte is in principe zowel op als in de omgeving van Chemelot technisch mogelijk. Gezien de maatregelen die daarvoor moeten worden genomen leidt dit bij gebruik op de Chemelot site echter netto tot een niet- tot nauwelijks rendabele verlaging van de scope 1 emissie. Buiten de site kan benutting van deze restwarmte voor huishoudens en bedrijven wel leiden tot aanzienlijke verlaging van de huidige emissies als deze voor stadsverwarming zou worden gebruikt.

###### *Watermanagement*

Voor de uitvoering van de huidige processen in de chemische industrie zijn grote hoeveelheden proces- en koelwater nodig. Op Chemelot gaat het hierbij om 44 miljoen m<sup>3</sup> op jaarbasis, waarvoor gebruik gemaakt wordt van op de site gezuiverd Maaswater uit het Julianakanaal. Na gebruik worden daarbij eventueel ontstane verontreinigingen op Chemelot verwijderd in de door **IAZI** beheerde waterzuiveringsinstallatie. Het gezuiverde koel- en proceswater (28 miljoen m<sup>3</sup>) wordt vervolgens – met een kwaliteit die voldoet aan de milieuvergunning – geloosd op het oppervlaktewater van de Maas. Daarnaast wordt door verdamping in de koeltorens ca. 30% van het ingenomen water als zeer zuivere waterdamp in de atmosfeer gebracht. In het kader van de energie- en grondstoffentransitie zullen tot 2050 diverse nieuwe processen worden geïntroduceerd en diverse bestaande worden uit gefaseerd om aan de doelstellingen voor broeikasgas emissies te voldoen. Om aan de milieunormen te blijven voldoen zal steeds aandacht nodig zijn voor de beheersing van de daardoor veroorzaakte effecten op het volume en de kwaliteit van afvalwater.

###### *Digitalisering procesvoering.*

Digitale technologie vervult in de chemische industrie reeds een cruciale rol bij aansturing van processen en de bewaking van de veiligheid en kwaliteit van daarvoor gebruikte installaties. Gezien de exponentiële ontwikkelingen op het gebied van digitale technieken komen er voortdurend, elkaar steeds sneller opvolgende verdergaande digitaliseringsopties in beeld. Met name de ontwikkelingen op het gebied van kunstmatige intelligentie om digitale informatie zonder menselijke tussenkomst te ontsluiten en te interpreteren bieden nieuwe en momenteel nog onbenutte mogelijkheden. Daarnaast zijn er nieuwe ontwikkelingen in de wiskundige beschrijving en modellering van complexe geïntegreerde systemen, zoals aanwezig op een geïntegreerde chemische site als Chemelot. Deze ontwikkelingen kunnen mogelijk worden benut om emissies te minimaliseren en de bedrijfsvoering per proces, bedrijf en als gehele site te optimaliseren bij een in de toekomst meer dynamisch aanbod van (duurzame) energie en grondstoffen.

##### 4.4.2. Brightsite focus

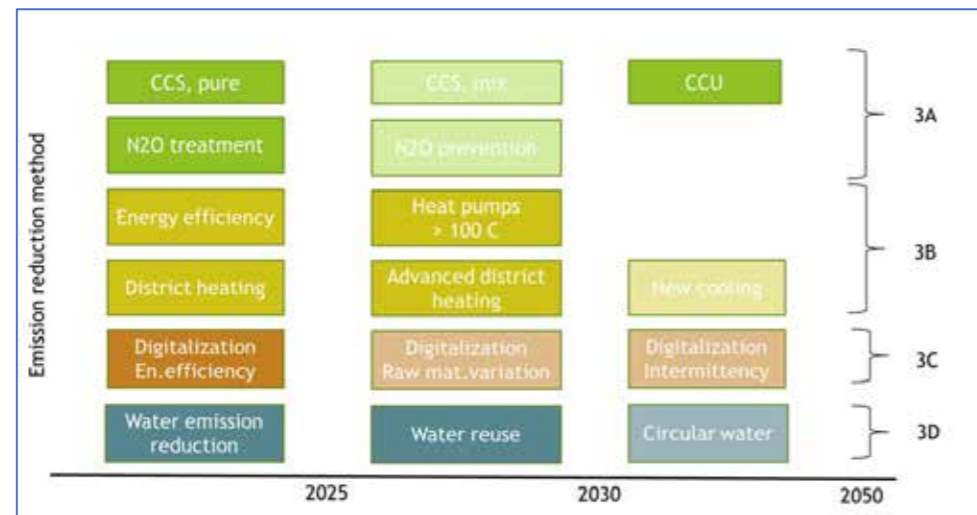
Na de oriëntatiefase is er op basis van de beschikbare informatie, inzichten en urgentie voor gekozen om de activiteiten van dit deel van het Brightsite-programma primair te focussen op verbetering van het huidige en toekomstige watermanagement op Chemelot. Gezien een recente aanscherping van de milieueisen, is door Brightsite in samenwerking met IAZI en regionale waterbeheerders een specifiek programma opgezet om tijdig aan de toekomstige normen te voldoen en daarbij mogelijke besparingen van het watergebruik te bewerkstelligen. Het ambitieniveau van dit programma is om uiteindelijk geen water meer te hoeven lozen.

<sup>21</sup> Zie <https://www.chemelotcircularhub.com>

<sup>22</sup> Om een indruk van deze hoeveelheid energie te geven: het gemiddelde jaarlijkse aardgasverbruik van bijna 20 000 woningen komt neer op 1 PJ energie uit aardgas. Echter lang niet alle 70 PJ van Chemelot afgevoerde residuele warmte heeft een zodanige kwaliteit (tem-peratuur) dat die in aanmerking komt voor stadsverwarming.

Vanwege het tot nu toe ontbreken van passend overheidsbeleid om de benutting van industriële restwarmte buiten de Chemelot site te stimuleren is deze optie voor de bedrijven op Chemelot vooralsnog niet interessant. Brightsite zal zich echter inspannen om in samenspraak met de betrokken belanghebbenden en toeleveranciers verbetering in deze situatie te brengen. Een voorbeeld hiervan is de optie voor opslag, transport en afgifte van warmte in een op (de)hydratie van zout gebaseerde warmtebatterij, zoals momenteel voor kleinschaligere toepassingen ontwikkeld door TNO-TU/e spin-off Cellsius<sup>23</sup>.

Op het gebied van digitalisering wordt door Brightsite een verdere verkenning uitgevoerd om de voor Chemelot in het kader van de energie- en grondstoffentransitie meest relevante mogelijkheden in beeld te brengen. In figuur 8 zijn de diverse momenteel voorziene stappen weergegeven voor de ontwikkeling en toepassing van de hiervoor beschreven proces- en site-innovatie gerichte technologieën op Chemelot.



Figuur 8: Roadmap voor ontwikkeling en toepassing van proces- en site innovatie gerichte technologieën.

#### 4.4.3 Impact op Chemelot

Wat betreft emissies van CO<sub>2</sub> en N<sub>2</sub>O zullen de reeds voorziene maatregelen van de site-users naar verwachting leiden tot reductie van 1,5 Mt CO<sub>2</sub> eq. Voor hergebruik van de huidige 70 petajoule restwarmte op Chemelot komt op grond van de beschikbare informatie en inzichten ca. 10% in aanmerking. Hiertoe zullen de technisch-economische aspecten van mogelijke alternatieven voor de nu gebruikelijke inzet van koeltorens en effecten op de warmte- en energie balans van Chemelot in kaart gebracht moeten worden. Inzet van restwarmte in de gebouwde omgeving zal weliswaar niet leiden tot vermindering van scope 1 emissies op Chemelot, maar kan daarbuiten in de bebouwde omgeving een besparing van ca 0,17 Mt CO<sub>2</sub> van scope 1 van Nederland opleveren.

Investerings op het gebied van digitalisering kunnen bijdragen aan reductie van uitstoot van broeikasgassen via verbeterde efficiency van huidige en toekomstige processen. Hoe groot deze bijdrage aanvullend kan zijn voor Chemelot als geheel is momenteel nog niet bekend. Deze is per fabriek afhankelijk van de mate van automatisering en procescontrole aldaar doorgevoerd. Brightsite zal hieromtrent in samenwerking met de betrokken bedrijven een nadere inventarisatie uitvoeren.

Meer algemeen gesproken is de verdere doorontwikkeling van Chemelot ondenkbaar zonder onderzoek naar- en verdere implementatie van nieuwe digitale technieken. Met name de ontwikkelingen op het gebied van kunstmatige intelligentie gaan naar verwachting hierbij een steeds grotere rol spelen. Met name om processen veiliger en flexibeler te maken tijdens

<sup>23</sup> <https://cellsius.com>

de transitie naar gebruik van nieuwe energiesystemen en grondstoffen. Brightsite zal deze ontwikkelingen en de mogelijkheden voor implementatie op Chemelot actief volgen en signaleren via de bij de partners aanwezige expertise en onderzoeksactiviteiten.

Op het gebied van emissies naar- en gebruik van water is niet alleen de technologie op Chemelot, maar ook de wetgeving en publieke opinie sterk in ontwikkeling. Om hierop voorbereid te zijn zullen Brightsite en hierbij betrokken (Chemelot) partners proactief bestaande en in ontwikkeling zijnde technieken om verontreinigingen te meten en te verwijderen identificeren, implementeren en waar nodig zelf ontwikkelen. Op basis van deze inzichten wordt een roadmap opgesteld om de in de komende jaren benodigde inspanning en daarmee bereikbare emissieniveaus in kaart te brengen.

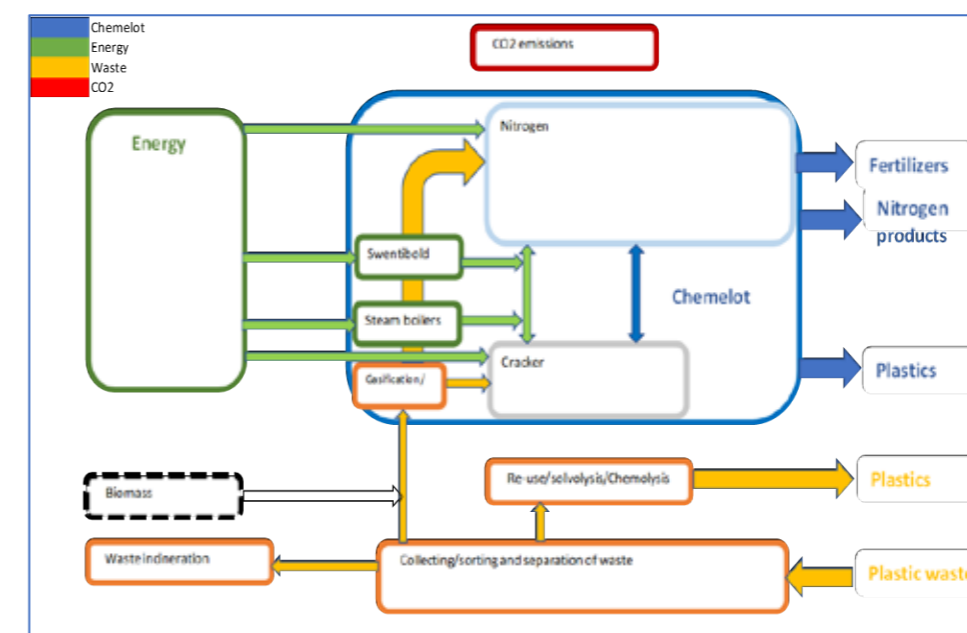
#### 4.5. Transitie scenario's

##### 4.5.1. Opties voor Chemelot

In de voorgaande paragrafen is beschreven welke technologische opties aanwezig zijn en in de toekomst mogelijk worden geacht op basis waarvan Chemelot kan voldoen aan de doelstellingen van het Nationale Klimaatakkoord en de daaraan verbonden normen voor broeikasgasemissies in 2030 en 2050. Gezien de grote diversiteit aan opties en het integrale karakter van de bedrijfsactiviteiten is hierbij een overkoepelende en samenhangende aanpak nodig om de mogelijke effecten in kaart te brengen en tijdig de juiste keuzes te maken voor de opstelling en implementatie van de hieraan verbonden transitie scenario's.

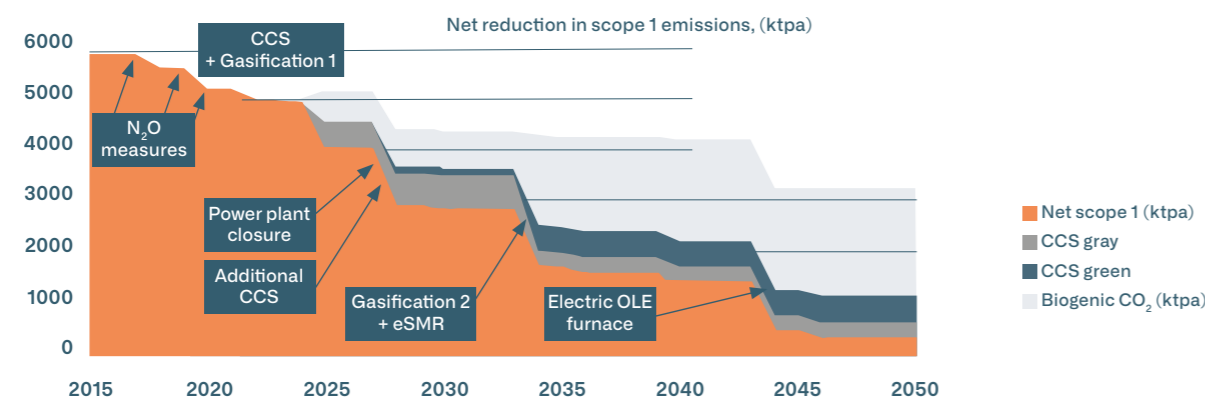
##### 4.5.2. Brightsite focus

Dit deel van het Brightsite-programma is primair gericht op het samenbrengen, verwerven en vertalen van beschikbare technisch-economische kennis en andere relevante informatie en verwachtingen om tijdig te kunnen voldoen aan de emissiedoelstellingen van het Nationale Klimaatakkoord. Op basis hiervan worden inhoudelijk onderbouwde scenario's en transitiepaden ontworpen, getoetst en vergeleken voor implementatie van de hiervoor benodigde innovaties op Chemelot. Om grip te krijgen op de diversiteit van mogelijke interacties en afhankelijkheden van deelaspecten worden deze samengebracht in integrale softwaremodellen waarmee deze kunnen worden vertaald naar effecten op het systeemniveau van Chemelot. Door Brightsite is als eerste het **Chemelot Integrated Model System (CIMS)** model ontwikkeld. Dit model is gebaseerd op de huidige fabrieksinstallaties en aangevuld met mogelijk alternatieve technologieën voor de verduurzaming van de Chemelot site. In figuur 9 is de opbouw van het CIMS en daarin aanwezige modules schematisch weergegeven.



Figuur 9: Modulaire opbouw en samenhang van Chemelot Integrated Model System (CIMS)

### 4.5.3. Impact op Chemelot



Figuur 10: Reductie van scope 1 emissies door interventies in gebruik van energie en grondstoffen op Chemelot.

Uitgaande van de Chemelot doelstellingen om de scope 1 emissie op Chemelot in 2050 uiteindelijk naar 0 terug te brengen, kunnen met het CIMS hiervoor in aanmerking komende transitiepaden voor invoering van hiervoor beschikbaar (komende) technologieën worden opgesteld. In figuur 10 is een voorbeeld van een hiertoe mogelijk transitiepad weergegeven. De scope 1 emissiedoelstellingen voor 2030 en 2050 worden in dit scenario vrijwel volledig gerealiseerd door een samenspel van in de figuur aangegeven elkaar opvolgende en aanvullende interventies. In dit voorbeeld is naast de reeds geïmplementeerde maatregelen om de emissie van N<sub>2</sub>O te verminderen, structureel grootschalige afvang, transport en opslag (CCS<sup>24</sup>) van CO<sub>2</sub> nodig. Vanaf 2027 wordt een extra bijdrage geleverd door het uit bedrijf nemen van de op aardgas gestookte elektriciteitscentrale op Chemelot. Vanaf 2033 is de vervanging van fossiele grondstoffen door vergassing en pyrolyse van (plastic)afval of biograndstoffen voorzien en vanaf 2044 de overschakeling op verwarming van installaties met extern aangeleverde (al of niet duurzame) elektriciteit.

Dit voorbeeld beschrijft slechts één combinatie van mogelijke interventies en het daaruit door het model berekende optimale transitiepad voor reductie van de scope 1 emissies. Door invoer van andere randvoorwaarden, mogelijkheden en doelstellingen levert het model aangepaste transitiepaden. Op basis van dit soort scenario's kunnen beter onderbouwde en tijdige keuzes voor doorvoer van de diverse interventies op Chemelot worden gemaakt. Als volgende modeleringsstap wordt gewerkt aan uitbreidingen van het CIMS om de scope 1, 2, 3 -emissie en systeemeffecten ook op nationale schaal te kunnen beschrijven. In aansluiting hierop wordt een nog verdergaande **SCIAR**<sup>25</sup> model ontwikkeld. Hiermee kunnen de momenteel en in de toekomst benodigde en beschikbare (inter)nationale energie- en grondstofstromen voor vervaardiging van huidige en toekomstige producten in kaart worden gebracht. Aan de hand van dit model kan inzichtelijk worden gemaakt welke invloeden de in het CIMS opgenomen interventies de toepasbaarheid voor Chemelot kunnen verhinderen of bevorderen. Deze zijn niet alleen technologisch, maar ook maatschappelijk van aard. Voor de sociale dimensie wordt zoals hiervoor aangegeven samengewerkt met universitaire partners van onder meer **Universiteit Maastricht, Radboud Nijmegen en TU-Eindhoven**.

<sup>24</sup> Carbon Capture and Storage

<sup>25</sup> Source, Commodity, Intermediate, Application en Resource; zie <https://brightsitecenter.com/sciar/>

### 4.6. Veilige en acceptabele innovatie

#### 4.6.1. Opties voor Chemelot

Om voor medewerkers en omwonenden een goede werk- en leefomgeving te garanderen wil Chemelot wil niet alleen de meest duurzame en efficiënte chemische site van Europa zijn, maar ook de meest veilige en gezonde. Bij gebruik van alternatieve energie, grondstoffen en technologieën als gevolg van de energie- en grondstoffentransitie is er dus ook voortdurend aandacht nodig voor het vermijden van hierdoor mogelijk veroorzaakte onwenselijke belasting (water, bodem, geluid, licht, fijnstof etc.) van de Chemelot werk- en woonomgeving. In dit deel van het Brightsite-programma wordt daartoe proactief in kaart gebracht wat de diverse veiligheids- en acceptatie-aspecten (kunnen) zijn van in aanmerking komende innovaties op en rond Chemelot.

#### 4.6.2. Brightsite focus

In dit deel van het Brightsite-programma wordt nadrukkelijk aandacht gegeven aan de individuele en maatschappelijke acceptatieaspecten van nieuwe opties die verbonden zijn aan mogelijke toepassing op Chemelot. Het programma omvat elkaar aanvullende lijnen die respectievelijk gericht zijn op het begrijpen en beïnvloeden van menselijke en culturele aspecten, de inrichting van besturingsprocessen en het ontwerp van methoden en richtlijnen voor intrinsiek veilige installaties en werkwijzen. Een recent door Brightsite gerealiseerd voorbeeld is het in samenwerking met **AnQore** ontwikkeld 'Early Warning Safety Monitoring' systeem. Door geautomatiseerde screening van recent gecommuniceerde bedrijfsinformatie detecteert de hiervoor ontwikkelde software vroegtijdige signalen die vooraf gaan aan mogelijk later optreden van storingen en incidenten.

In dit deel van het Brightsite-programma worden tevens de mogelijke technische risico's verbonden aan het toekomstige gebruik van alternatieve technologieën en (bio/afval) grondstoffen in kaart gebracht. Als voorbeeld kan worden genoemd dat in 2021 in het kader van de toekomstige inzet van plasmatechnologie de diverse hieraan verbonden veiligheidsaspecten geïdentificeerd zijn. Andere voorbeelden zijn de betrokkenheid bij het **Delta Corridor**<sup>26</sup> project voor aanleg van CO<sub>2</sub> buisleidingen, de realisatie van een multimodale corridor naar de haven van Stein<sup>27</sup> en de externe opslag van afvalplastics.

Ten aanzien van maatschappelijke acceptatie, zijn de eerste vragen en reacties vanuit de Chemelot omgeving gekomen met betrekking tot de mogelijke opslag van afvalplastics en hieraan verbonden toename van vervoersbewegingen en eventuele andere overlast (bv stank, ongedierte). Dit soort vragen en reacties gaan naar verwachting alleen maar toenemen. Brightsite bereidt zich hierop voor door een actueel overzicht en kennis te hebben en te delen omtrent de hieraan verbonden nieuwe technologieën en ontwikkelingen. Hiertoe is een aanvang gemaakt met de opstelling van een set beantwoordingen van veel gestelde vragen per onderwerp. Voor een Chemelot-toekomst die acceptabel is voor de omgeving is omgevingsparticipatie een voorwaarde. Brightsite ondersteunt Chemelot hierbij en heeft daartoe inmiddels een 'Denktank Stakeholder Engagement' opgericht met participatie van experts van o.a. **Universiteit Eindhoven, Nijmegen, Leiden**. Hiermee is verzekerd dat de meest recente kennis en ervaring op het gebied van participatie van belanghebbenden betrokken en beschikbaar is.

#### 4.6.3. Impact op Chemelot

Chemelot is in 2022 een cluster van verschillende (chemische) bedrijven. Door de transitie van Chemelot zal de diversiteit in bedrijven en activiteiten alleen nog maar toenemen. Hierdoor zullen er verschillen aanwezig zijn in de lokale veiligheidscultuur, maar de gezamenlijke verantwoordelijkheid voor actuele veiligheid en de ambitie van een steeds betere

<sup>26</sup> [https://www.limburg.nl/publish/pages/5919/samenvatting\\_haalbaarheidsstudie\\_delta\\_corridor\\_1.pdf](https://www.limburg.nl/publish/pages/5919/samenvatting_haalbaarheidsstudie_delta_corridor_1.pdf)

<sup>27</sup> [https://www.limburg.nl/publish/pages/298/mirt\\_onderzoek\\_goederenvervoercorridors\\_oost\\_en\\_zuidoost.pdf](https://www.limburg.nl/publish/pages/298/mirt_onderzoek_goederenvervoercorridors_oost_en_zuidoost.pdf)

veiligheidsprestatie blijft bestaan. Met de introductie van andere en nieuwe productieprocessen, technologieën en grondstoffen om de transitie van Chemelot mogelijk te maken zullen - naast bekende - andere en ook nieuwe aspecten van veiligheid en maatschappelijke acceptatie ontstaan. De bij Brightsite verkregen inzichten in gevaren, risico's en maatschappelijke aspecten die horen bij de ontwikkeling en introductie van nieuwe grondstoffen en technologieën helpen bedrijven op Chemelot om de transitie zo soepel mogelijk te laten verlopen voor medewerkers en omgeving. De inzet van Early Warning Safety systemen zal ervoor zorgen dat bedrijven op Chemelot mogelijke verstoringen vaker en vroeger kunnen waarnemen en oplossen, zodat het daadwerkelijk optreden van incidenten en daarbij behorende overlast wordt verminderd. Vanuit de in dit deel van het Brightsite-programma opgebouwde deskundigheid zal in toenemende mate een klankbord en toegevoegde waarde worden geleverd bij door de overheid op te stellen aanvullende wet- en regelgeving op het gebied van de veiligheid van technologieën, aansturingssystemen en grondstoffen. Op basis hiervan zal Brightsite Chemelot ondersteunen om in de praktijk te laten zien hoe een cluster van verschillende bedrijven, activiteiten en culturen het veiligheidsbeleid op een multi-user site gezamenlijk kan vormgeven.

#### 4.7. Educatie & Human Capital

##### 4.7.1. Opties voor Chemelot

Bij de opzet van Brightsite is onderkend dat nieuwe initiatieven nodig zijn om onderzoekers en medewerkers aan te trekken en op te leiden voor de ontwikkeling en toepassing van - voor de klimaattransitie van de chemische industrie benodigde - nieuwe technologieën. Partner **Universiteit Maastricht** heeft in Brightsite-verband het initiatief genomen om hiervoor op maat gesneden nieuwe opleidingen op bachelor en masterniveau te ontwikkelen met een tweetal daaraan verbonden leerstoelposities.

##### *Bachelor of Science Circular Engineering*

De door de **Universiteit Maastricht** (UM) ontwikkelde en in september 2021 gestarte interdisciplinaire bachelor Circular Engineering heeft tot doel een ingenieur op te leiden met een sterke technische basis, gecombineerd met kennis van de natuurwetenschappen en wiskunde. Daarnaast leren studenten dat het alleen mogelijk is om de ecologische voetafdruk van producten, processen en diensten te reduceren of zelfs te elimineren, als de volledige lifecycle in beschouwing wordt genomen en integraal wordt geoptimaliseerd. Bovendien leren studenten dat de maatschappij nadrukkelijk meekijkt (denk bijvoorbeeld ook aan veiligheid en gezondheid) en invloed heeft op dit proces en de acceptatie van eventuele (deel)oplossingen.

Er is een sterke nationale, regionale en internationale vraag om bij te dragen aan de overgang naar een duurzame en concurrerende chemische industrie. Voortbouwend op de bestaande sterke onderzoeksgebieden van de UM op het gebied van chemische industriële processen en biobased materialen, is het de ambitie van de bachelor Circular Engineering om een sleutelrol te spelen in deze transitie. De ontwikkelde opleiding doet dit door nieuwe ingenieurs op te leiden die een centrale rol gaan spelen in de ontwikkeling en implementatie van circulaire processen. Zowel in de ontwikkeling van modellen, activiteiten en technologieën om de maatschappij en industrie circulair te maken, als het ontwerp en de ontwikkeling van duurzame producten en processen, met de bijbehorende grondstoffen, energie en end-of-life problematiek en oplossingen. Naast de realisatie van de bovengenoemde bachelor is voorbereid dat in 2024 op master niveau een aansluitende opleiding 'Sustainable Manufacturing' kan worden aangeboden. In figuur 11 zijn de bouwstenen en stappen in het hiervoor beschreven meerjarige Education en Human Capital programma gevisualiseerd.



Figuur 11: Stapstenen in opbouw van Brightsite Education en Human Capital programma.

##### *Aansluiting op HBO/MBO niveau*

Ook de verbinding met HBO en MBO voor zowel onderwijs als onderzoek is onderdeel van het Brightsite educatieprogramma. Als resultaat hiervan heeft Hogeschool Zuyd inmiddels het concrete voornemen een lectoraat in te richten dat past bij de hiervoor beschreven opleidingen op bachelor- en master niveau. Parallel hieraan hebben de contacten met het Vista College opgeleverd dat de docenten van deze MBO-opleiding waar mogelijk betrokken worden bij de onderzoeksprojecten en andere initiatieven op HBO en academisch niveau. Hiermee wordt beoogd dat de docenten directe ervaring opdoen met deze ontwikkelingen en die kunnen vertalen naar de veranderingen die hierdoor voor toekomstige functies en opleidingen op MBO-niveau gaan ontstaan.

##### 4.7.2. Brightsite focus

##### *Leerstoelen Plasmachemie en Circular Plastics*

Ter verdere versterking van de aantrekkingskracht en wetenschappelijke positionering van de hiervoor toegelichte opleidingen, is hieraan programmatische en personele invulling gegeven door de inrichting van een voor Nederland nieuwe leerstoel **Plasmachemie**. Tijdens de transitieperiode is duidelijk geworden dat plasma-activering voor Chemelot een in potentie zeer goed passende methode is om de elektrificatie van processen te realiseren. De verkenning, ontwikkeling en toepassing vormt daardoor inmiddels het technologische hart van programmaliijn 1 zoals is toegelicht in paragraaf 4.2.

Voor de academische invulling van dit deel van het Brightsite-programma is de voorheen bij het nationale NWO-topinstituut **DIFFER** werkzame professor Gerard van Rooij per 1 mei 2020 aangesteld bij **Universiteit Maastricht** en zijn aanvullende universitaire medewerkers in dienst genomen. Op basis van de resultaten van de tijdens de transitieperiode door de samenwerkende Brightsite- en Chemelot-partners **OCI** en **SABIC** uitgevoerde verkenning, is daarna in november 2021 een hiertoe gezamenlijk ingericht plasmalaboratorium op Chemelot geopend.

Op eenzelfde wijze zijn concrete stappen gezet ter versterking en profilering van de UM-positie op het gebied van **Circular Plastics**. Hierbij ligt de focus op de omzetting van kunststof afvalstromen voor diverse in aanmerking komende recyclingtechnieken om daarmee zoals in paragraaf 4.3 beschreven een belangrijke besparing van het gebruik van fossiele nafta te kunnen realiseren. Voor de invulling van deze ambitie is professor Kim Ragaert in september 2021 aangesteld en is op dit gebied een samenwerkingsverband aangegaan met de groep van professor Weckhuysen bij de **Universiteit Utrecht**.

#### 4.7.3. Impact op Chemelot

Het Circular Engineering programma en de ontwikkeling van een geschoolde technische beroepsbevolking in Limburg is een vitaal onderdeel van het Brightsite project. Het belang van regionale economische groei die leidt tot goedbetaalde, hooggekwalificeerde banen in de regio zal afhangen van de industriële basis die proactief de energietransitie aanstuurt in de context van net-nul en circulaire economie ambities van Nederland en Limburg. Het BSc **Circular Engineering**-programma en de bijbehorende expertise en infrastructuur op het gebied van onderzoek en onderwijs, zowel in Maastricht als op de Chemelot campus, zullen industriële belanghebbenden op meerdere fronten ondersteunen bij de uitvoering van de transitieagenda. Het BSc Circular Engineering-programma is ontworpen om technische afgestudeerden voort te brengen die zijn afgestemd op een aantal specialismen die van belang zijn voor de Chemelot site. Naast de technische specialismen zal de Circular Engineer een ingenieur zijn met een holistische kijk op de uitdagingen van de energietransitie en een bewustzijn van de regionale en mondiale sociale context waarbinnen technologieën en industrieën bestaan. De politieke aard van de weg naar net-nul is duidelijk en zonder een expliciete appreciatie van de aard van de energietransitie zal de weg nog uitdagender zijn.

Naarmate de BSc Circular Engineering vordert, ontwikkelen de studenten van het programma gedurende hun studie banden met de bewoners van de Chemelot campus en de Brightsite partners. Dit geldt met name voor het werk aan de talrijke project- en onderzoeksperiodes in het programma. Het programmamanagement is van plan netwerken te ontwikkelen ter ondersteuning van de studenten, waarbij gebruik wordt gemaakt van bestaande netwerken van jonge professionals op Chemelot. Deze inspanning zal ervoor zorgen dat studenten tijdens hun studie een professioneel bewustzijn en een visie op de uitdagingen van de industriële energietransitie ontwikkelen. We voorzien ook een feedback loop waarbij organisaties die jonge professionals in dienst hebben die nauw samenwerken met studenten als mentoren, steeds meer verbonden raken en zich bewust worden van een scala aan gezichtspunten en ideeën die voortkomen uit deze informele relaties.

Op het moment dat studenten afstuderen aan het programma zal er een directe impact zijn op Chemelot via de toename van technische afgestudeerden met een holistische kijk op de energietransitie en de vaardigheden om in contact te treden met de industrie. Afgestudeerden van **Circular Engineering** maken een begin met het beïnvloeden van Chemelot via directe toetreding tot de arbeidsmarkt of via betrokkenheid bij de industrie via onderzoeksprojecten op masterniveau in de geassocieerde onderzoeksgroepen van de UM, zoals de eerder genoemde onderzoeksteams voor plasmachemie en circulaire kunststoffen. Indirecte voordelen van de onderwijsprogramma's worden verkregen via de inkomsten die voor de onderzoeksgroepen worden gegenereerd door hun bijdrage aan onderwijs en projectwerk voor de programma's. De **AMIBM**, de onderzoeksgroep Circulaire Kunststoffen en de teams Plasmachemie leveren allen een bijdrage aan het onderwijs en het op onderzoek gebaseerde leren in het undergraduate programma. De betrokkenheid van de onderzoeksteams zal ertoe bijdragen dat de relevantie en de kwaliteit van het BSc in de loop van de tijd worden gehandhaafd en verbeterd.

Er worden onderwijsprogramma's op masterniveau ontwikkeld, die zijn afgestemd op de resultaten van het BSc-programma. Dit zal de bijdrage aan het aanbod van technische vaardigheden in de regio verder vergroten.



## 5. Slotbeschouwing: Wat er kan en nodig is richting 2030 en 2050

### 5.1. Wat Chemelot kan doen

Uit de door Brightsite inmiddels uitgevoerde verkenningen is duidelijk dat op basis van beschikbare technologieën de scope 1 broeikasgasemissie van Chemelot in 2030 – conform de doelstellingen van het Nationaal Klimaatakkoord – ten opzichte van 1990 met 60% kan worden verminderd. Naast de reeds genomen maatregelen om de N<sub>2</sub>O-emissie te verlagen, zal hiervoor met name afvang, transport en opslag van CO<sub>2</sub> (CCS) onder de (Noordzee)bodem structureel nodig zijn. Ter completering hiervan is een eerste stap in de vervanging van het huidige gebruik van aardgas en fossiele nafta nodig die kan worden geleverd door omzetting van kunststof dan wel huishoudelijk afval of biograndstoffen.

Om vervolgens zoals beoogd in 2050 volledig klimaatneutraal te worden is een verdergaand (her) gebruik van kunststof of huishoudelijk afval en biograndstoffen nodig, alsmede een volledige transitie naar verwarming van procesinstallaties op basis van (duurzame) elektriciteit in plaats van de huidige verbranding van aardgas en procesmethaan. Hiervoor zijn technische oplossingen beschikbaar of op termijn mogelijk. De verdere ontwikkeling en beschikbaarheid daarvan is grotendeels afhankelijk van externe leveranciers en omgevingsfactoren.

Net zoals Chemelot momenteel vrijwel geheel afhankelijk is van leveranciers van fossiele grondstoffen (nafta en aardgas) en (grijze) elektriciteit, zal dat in de toekomst ook zo zijn voor de levering van groene grondstoffen en duurzame energie. De tijdige beschikbaarheid en economische toepasbaarheid hiervan op Chemelot is daardoor verregaand afhankelijk van initiatieven van en samenwerking met toeleveranciers en afnemers en hierop van invloed zijnde regie, regelgeving en ondersteuning van de overheid. In de volgende paragrafen wordt nader ingegaan op deze voor de grondstoffen en energietransitie van Chemelot bepalende omgevingsfactoren.

### 5.2. Behoeft aan veel meer groene grondstoffenleveranciers

Groene grondstoffen die op Chemelot kunnen worden gebruikt als alternatief voor fossiel aardgas en nafta zijn momenteel en in de nabije toekomst beperkt beschikbaar. Zoals in paragraaf 4.2 beschreven moet voor deze grootschalige industriële transitie de hiervoor in aanmerking komende diversiteit van basismaterialen<sup>28</sup> worden omgezet tot halffabricaten (z.g. 'commodities') met constante kwaliteit. Dit vereist de ontwikkeling van een volledig nieuwe 'groene grondstoffen industrie' die uiteindelijk op prijs en kwaliteit kan concurreren met de huidige fossiele op olie- en gas gebaseerde versie.

Het zal in de toekomst blijken in hoeverre deze nieuwe industrie wordt gevormd door transitie van de huidige gevestigde bedrijven en in hoeverre de vernieuwing door nieuwe spelers zal worden ingevuld. Het is aannemelijk dat sneller gestopt zal worden met het verbranden van fossiel materiaal, maar dat het gebruik van aardgas en (daarvoor geschikte) ruwe aardolie als grondstof nog langere tijd zal voortduren. Dit mede bij gebrek aan de benodigde grote hoeveelheden hiervoor geschikte niet-fossiele koolstof om de verwachte economische groei tot 2050 op te kunnen vangen. De benodigde radicale vernieuwing zal naar verwachting moeten komen van huidige of nieuwe bedrijven en consortia die toegang hebben tot de hiervoor vereiste investeringsbudgetten. Verwacht wordt dat in het kader van deze transitie nieuwe waardeketens met nieuwe participanten gaan ontstaan. Bedrijven op Chemelot die in deze ketens duurzame grondstof afnemen kunnen voor de nieuwe leveranciers als 'launching customer' een initiële rol vervullen. Een concreet voorbeeld hiervan is de rol die momenteel door **SABIC** in samenwerking met **Plastic Energy** wordt vervuld bij de realisatie van een proeffabriek voor hergebruik van kunststoffen.

<sup>28</sup> Kunststof/huishoudelijk afval, biograndstoffen en CO<sub>2</sub> uit de atmosfeer; zie 4.3

### 5.3. Behoeft aan veel meer duurzame elektriciteitsleveranciers

Om uiterlijk in 2050 voor verwarming van procesinstallaties af te kunnen zien van het verbranden van aardgas of fossiele procesgassen (methaan) en in plaats daarvan duurzame elektriciteit te gebruiken, zijn bij de opwekking, toelevering en toepassing nog diverse grootschalige aanpassingen nodig.

Zoals beschreven in 4.1 wordt de ontwikkeling van elektrische kraakinstallaties technisch mogelijk geacht en is deze recent wereldwijd opgepakt door diverse consortia van eindgebruikers. Voordat grootschalige investeringsbesluiten genomen kunnen worden om deze nieuwe technologie op Chemelot toe te passen, is er structurele zekerheid nodig omtrent de beschikbaarheid van de hiervoor benodigde (duurzame) elektrische energie. Ter vergelijking kan worden aangegeven dat de hoeveelheid elektriciteit waarover Chemelot moet kunnen beschikken overeenkomt met wat er momenteel door 1 à 2 moderne gasgestookte elektriciteitscentrale(s) wordt geproduceerd. Dit is maar liefst 30-90% van alle duurzame elektriciteit die gedurende 2019 in Nederland werd opgewekt uit wind- en zonne-energie<sup>29</sup>.

Gezien de vergelijkbare elektriciteitsbehoefte van andere chemische en industriële sites en nieuwe toetreders zoals datacenters, is al duidelijk dat de huidige (duurzame) elektriciteitsvoorziening hiervoor verregaand onvoldoende is. Hetzelfde geldt voor de infrastructuur van netbeheerders om de elektriciteit voor Chemelot en soortgelijke grootverbruikers lokaal beschikbaar te maken. Waar de chemische industrie en Chemelot een directe betrokkenheid en invloed heeft bij de transitie naar het gebruik van groene grondstoffen, geldt dit niet zonder meer voor de invulling van de (duurzame) energiebehoefte. De ontwikkeling van energiebronnen en daarvoor noodzakelijke technische installaties zijn een nationaal belang voor alle industriële en maatschappelijke sectoren. Chemelot is hierbij voor zowel voldoende CO<sub>2</sub>-vrije opwekking als de transportmogelijkheden van elektriciteit naar de site in grote mate afhankelijk van derde partijen, hetgeen een temporisering kan opleveren om de technisch mogelijk geachte energietransitie en daaraan gekoppelde emissiedoelstellingen voor 2050 te realiseren.

### 5.4. Wat kan de overheid doen?

Om de nationale emissiedoelstellingen op Chemelot en vergelijkbare industriële sites te realiseren, zal zoals hiervoor is aangegeven een sterk toenemende behoefte ontstaan aan duurzame grondstoffen en elektriciteit. Voor het ontwikkelen van die hiervoor benodigde nieuwe waardeketens voor groene grondstoffen zijn de belangrijkste obstakels beschreven in de actieagenda '**Groene Chemie Nieuwe Economie**'<sup>30</sup>. Deze wijst op de noodzaak van het verbeteren van voorwaarden voor ketenvorming tussen de chemie in nieuwe toeleverende sectoren zoals de afvalverwerking en de landbouw, verbeterde financieringsmogelijkheden voor nieuwe initiatieven en het vormgeven van stimulerend beleid.

Op het gebied van duurzame elektriciteit is er een betere uitgangssituatie, omdat bestaande bedrijven en nieuwe consortia met steun van de overheid de ontwikkeling en exploitatie van offshore windmolenparken hebben opgepakt. Na aanvankelijke subsidiering kan er op basis hiervan inmiddels marktconform geconcurrereerd worden met de opwekking van elektriciteit met gebruikmaking van fossiele brandstoffen. Om aan de sterk groeiende behoefte te kunnen voldoen is er echter nog een exponentiele uitbreiding van de infrastructuur voor opwekking, transport en systeemmanagement van elektriciteit nodig om deze op de schaal van industriële sites zoals Chemelot beschikbaar te maken. Elektriciteitsproducenten en netwerkbeheerders zijn zich bewust van dit probleem, maar ervaren momenteel al problemen om tijdig in te spelen op de veranderingen in aanbod van- en vraag naar duurzame energie.

<sup>29</sup> CBS, Hernieuwbare energie in Nederland 2019

<sup>30</sup> <https://groenechemie.nl/>

Om de ambities van het Nationale Klimaatakkoord tijdig en duurzaam te realiseren dienen de hiervoor geschetste impasses en het mogelijk falen van de markt te worden doorbroken. Dit vergt een lange termijn 'Deltaplan' aanpak op nationale schaal en bijbehorende stimulerende regievoering door de overheid. Een nationaal "KlimaatagentschapNL" zou de benodigde ontwikkelingen kunnen waarborgen en tevens de samenwerking met het Europees Milieuagentschap coördineren. Indien hierdoor op (inter) nationale schaal voldoende bestaande onzekerheden en risico's worden weggenomen, is te verwachten dat nieuwe initiatieven op commerciële basis zich ontwikkelen.

In Nederland kan voor de wereldmarkt een nieuwe, internationaal toonaangevende bedrijvigheid ontstaan. Gezien de aard van de klimaattechnologie liggen hier voor de continuïteit van de chemische sector extra goede mogelijkheden door koppeling met de internationaal leidende positie van de Nederlandse hightech industrie alsmede met de vooraanstaande afvalverwerkende en biograndstoffen sectoren. Vergelijkbare ontwikkelingen zoals in de afgelopen 30 jaar door ASML en toeleveranciers ontwikkeld op basis van de lange-termijn roadmap van de halfgeleiderindustrie worden ook op het gebied van klimaattechnologie mogelijk geacht, met daaraan verbonden positieve effecten op de toekomstige nationale werkgelegenheid en economie.

### 5.5. Wat kan en zal Brightsite gaan doen?

Gezien de hiervoor aangegeven externe afhankelijkheden is momenteel niet met zekerheid aan te geven wat en wanneer er na 2030 op Chemelot realistisch mogelijk is. Wat wel kan, is op basis van de in 4.3 beschreven modelmatige aanpak, periodiek technische- en scenarioanalyses met steeds toenemende betrouwbaarheid uit te voeren en te delen. De diverse scenario's kunnen daarbij worden getoetst op hun gevoeligheid voor veranderingen in prijzen, regelgeving en beschikbaarheid van duurzame grondstoffen, energie en CO<sub>2</sub>-emissies. Op die manier kunnen 'no regret' opties met groot potentieel en beperkte risico's worden geïdentificeerd, die daardoor het meest in aanmerking komen voor ontwikkeling en integratie op de Chemelot site van de toekomst. Op basis van dergelijke analyses is bijvoorbeeld nu al duidelijk dat toepassing van plasmatechnologie voor omzetting van methaan en vergassingstechnologie en andere methoden voor chemische recycling van plastic afval zich in dit soort 'stress tests' stabiel positief tonen. Brightsite zal op deze wijze voortdurend de potentiële economische en maatschappelijke impact van nieuwe technologieën toetsen en indien geschikt bevonden, vertalen naar de transitie scenario's voor Chemelot. Bij positief resultaat en hoog potentieel mobiliseert Brightsite ook samen met partners en stakeholders de benodigde middelen om zulke technologieën vanaf de laboratorium- en pilotfase op te schalen naar demo-installaties. Als vervolgstap zal Brightsite de gevolgde aanpak en uitkomsten voor Chemelot vertalen en uitbreiden naar vergelijkbare industriële sites en verbinden met andere internationaal reeds ontwikkelde grondstof- en energie gebaseerde modellen<sup>31</sup>.

Last but not least, gaat de start van de hierop toegespitste opleidingen op diverse onderwijsniveaus en de uitbreiding van hieraan verbonden leerstoelen en infrastructuur voor experimenteel onderzoek- en ontwikkeling op Chemelot ervoor zorgen dat internationaal talent wordt opgeleid en zich in Limburg vestigt om de hiervoor geschetste mogelijkheden en uitdagingen in praktijk te brengen.

<sup>31</sup> Voorbeelden zijn: Energie Transitie Model (ETM), Carbon Transitie Model (CTM) en Life Cycle Assessment (LCA) modeleringen.

## Wilt u meer weten?

Wilt u meer weten over hoe Brightsite de transitie van de chemische industrie ondersteunt of wilt u hieraan bijdragen, neem dan contact met ons op via [info@brightsitecenter.com](mailto:info@brightsitecenter.com)

Volg ons op social media of via onze nieuwsbrief:

 @brightsitecenter

 [www.brightsitecenter.com/newsletter](http://www.brightsitecenter.com/newsletter)



De informatie die u aantreft in deze uitgave kan, ondanks onze zorgvuldigheid, fouten bevatten en is onderhevig aan gevolgen van dynamiek in de industrie. De publicatie is opgebouwd uit feiten en kennis van januari 2022 en zal naar verwachting een jaarlijkse update krijgen. Hoewel wij onze uiterste best doen om alle informatie zo goed en foutloos mogelijk aan te bieden, kunnen wij niet verantwoordelijk of aansprakelijk gesteld worden voor eventuele fouten. Niets uit deze uitgave mag worden gekopieerd en / of verspreid door derden zonder toestemming van Brightsite.

Deze publicatie is mede tot stand gekomen met ondersteuning van ChemistryNL en de Provincie Limburg.

# ANNEX

## ANNEX 1. Toelichting Emissies scope 1, 2 en 3 en herkomst

Om belangrijke, maar uiteenlopende overwegingen van wetenschappelijke, politieke of commerciële aard wordt veel gebruik gemaakt van de classificatie van broeikasgasemissies in een zogenaamde scope 1, scope 2 en scope 3. Voorbeelden zijn de formulering en uitvoering van beleid en hiervan afgeleide reguleringen en assessmentmethodes zoals een Life Cycle Analysis (LCA) of -Assessment. Om te begrijpen hoe belangrijke aspecten van deze classificatie zich verhouden tot het klimaat en dan met name gerelateerd **aan unieke mogelijkheden van de chemische industrie zoals Chemelot om vanuit de eigen positie de klimaatopwarming te mitigeren**, wordt deze classificatie hieronder nader toegelicht. Een belangrijk aspect is het relatieve karakter van scope 1, 2 en 3: de hieraan toe te kennen getalswaarden van emissies hangen namelijk af van het gezichtspunt van de bepalende entiteit in kwestie en zijn daardoor niet absoluut geldig.

### 1.1. Emissies scope 1, 2 en 3

**Scope 1 emissies** worden veroorzaakt door bronnen binnen de entiteit in kwestie. Voorbeelden van zo'n entiteit zijn een bedrijventerrein, een maatschappelijke sector, een land, de EU of zelfs een huishouden. Beschouwen we Nederland als entiteit, dan wordt de Nederlandse scope 1-emissie veroorzaakt door de uitstoot van broeikasgassen op Nederlands territorium. Dit vertaalt zich direct naar iedere entiteit *binnen* Nederlands grondgebied: die hebben een eigen scope 1 emissie, die deel uitmaakt van de Nederlandse scope 1 emissie. Zo heeft een bedrijventerrein zoals Chemelot een eigen scope 1 emissie die wordt veroorzaakt door de uitstoot van CO<sub>2</sub> en N<sub>2</sub>O op de site. Aan de scope 1 emissies vanaf Nederlands territorium dragen ook de verbranding van afval en de langzame vertering van materiaal in vuilnisbelten of het milieu bij. De som van de emissies van alle entiteiten op Nederlands grondgebied vormen in principe de Nederlandse scope 1 emissie<sup>32</sup>. En evenzo vormt de som van de scope 1 emissies van alle naties op aarde de totale broeikasgasemissies van de mensheid.

In 2019 bedroeg de Nederlandse scope 1 emissie gemeten in CO<sub>2</sub>-equivalenten<sup>33</sup> 181 Mt<sup>34</sup>. De bijdrage van Nederlands industrieën had hierbij een omvang van 53,4 Mt<sup>35</sup> waarvan 17,5 Mt CO<sub>2</sub>-eq.<sup>36</sup> afkomstig was van de chemische industrie. De emissie van de bedrijven op Chemelot bedroeg 5,2 megaton: een aandeel van 10% van de totale industriële scope 1 emissie in Nederland. Het terugdringen van scope 1 emissies vormt een belangrijke pijler van het huidige Nederlandse beleid. Dit beleid betreft ook Chemelot, dat voor zijn energie- en grondstoffenvoorziening net als Nederland deel uitmaakt van een **gigantisch internationaal energie- en grondstoffsysteem** (zie later), maar met zijn productie deel uitmaakt van de Nederlandse chemische industrie.

**Scope 2 emissies** zijn te relateren aan de binnen een entiteit verbruikte elektriciteit, die werd opgewekt buiten deze entiteit. Zo ontstaat de Nederlandse scope 2 emissie bij de productie buiten Nederland van geïmporteerde en binnen Nederland verbruikte elektriciteit. De emissies van binnen Nederland geproduceerde elektriciteit vallen echter onder scope 1 van Nederland. Evenzo ontstaat Chemelots scope 2 emissie buiten Chemelot als gevolg van de productie van

<sup>32</sup> Rond de emissies veroorzaakt door de internationale lucht- en zeevaart spelen daarnaast enkele conventiekwesties.

<sup>33</sup> Naast CO<sub>2</sub> dragen ook lachgas (N<sub>2</sub>O, distikstofoxide), methaan (CH<sub>4</sub>) en fluorhoudende gassen (F-gassen) bij aan de opwarming van de atmosfeer. Om de invloed van deze verschillende broeikasgassen te kunnen optellen, worden de uitstootcijfers omgerekend naar CO<sub>2</sub>-equivalent, afgekort tot CO<sub>2</sub>-eq. De uitstoot van 1 kilogram lachgas staat gelijk aan 298 kilogram CO<sub>2</sub>-eq. en de uitstoot van 1 kilogram methaan aan 25 kilogram CO<sub>2</sub>-eq.

<sup>34</sup> Broeikasgasuitstoot wordt doorgaans uitgedrukt in Mt CO<sub>2</sub>-eq. (1 Mt = 1 miljoen ton)

<sup>35</sup> 89% CO<sub>2</sub>, 11% overige broeikasgassen

<sup>36</sup> CBS, <https://www.cbs.nl/nl-nl/dossier/dossier-broeikasgassen/hoofdcategorieen/welke-sectoren-stoten-broeikasgassen-uit->

**Scope 3 emissies** zijn emissies die ontstaan buiten de grenzen van de entiteit als gevolg van de activiteiten binnen de entiteit en die voortkomen uit bronnen die geen eigendom van de entiteit zijn en niet beheerd worden door de entiteit en waarop de entiteit geen directe controle heeft<sup>37</sup>. Deze ‘formele omschrijving’ is toepasbaar op een breed scala van duurzaamheidsoverwegingen van verschillende aard, ook buiten de chemische industrie. De scope 3-emissies zijn daarmee zeer complex van aard. Om desondanks de positie van de petrochemie in scope 3 goed te kunnen begrijpen, en met name een bijzonder belangrijke overweging rond de ontwikkeling en het gebruik van duurzame grondstoffen, is de in LCA’s gehanteerde omschrijving zeer bruikbaar. Deze houdt in dat scope 3 emissies als *alle product-gerelateerde emissies gedurende hun gehele levenscyclus* beschouwd en daarmee het maken, gebruiken en afdanken van producten omvatten<sup>38</sup>. Scope 3 emissies zijn eveneens te relateren aan entiteiten en worden daartoe onderverdeeld in Upstream en Downstream emissies, gezien vanuit de entiteit in kwestie. Het eerder genoemde relatieve karakter van de scope 1,2,3 classificatie blijkt uit het feit dat in waardeketens scope 3 van de één vaak scope 1 is van de ander.

**Scope 3 Upstream emissies** zijn voornamelijk emissies *buiten* de entiteit als gevolg van de winning uit fossiele bronnen en productie van geïmporteerde grondstoffen en producten, die binnen de entiteit verwerkt of geconsumeerd worden. Voorbeelden zijn methaanemissies bij de winning van aardgas, het energieverbruik en de daarmee gepaard gaande CO<sub>2</sub>-emissies om olie uit (soms moeilijk toegankelijke) bronnen te winnen, te raffineren en verder te verwerken (tot nafta, fenol), en alle grondstoffen te transporteren naar Chemelot. Als de vraag naar olie-, gas- of steenkoolproducten afneemt, zodat minder olie, gas of steenkool boven de grond wordt gehaald, neemt de scope 3 upstream emissie af.

Uit bovenstaande volgt ook dat Chemelots scope 3 Upstream emissies gedeeltelijk onder de Nederlandse scope 1 vallen. Bepalend hiervoor is de mate waarin de upstream activiteiten voor Chemelot binnen of buiten Nederland plaatsvonden. Dat is sterk afhankelijk van de internationale markt en kan in de tijd variëren. Upstream activiteiten voor naftabereiding (oliewinning, transport, raffinage, bewerking en transport naar Chemelot) vinden bijv. doorgaans niet allemaal geheel binnen Nederland plaats. Een ander gevolg hiervan is dan ook dat een nadere onderverdeling van deze emissies ‘binnen of buiten Nederland’ niet exact bekend is: de hiervoor benodigde data zijn niet bekend. De herkomst van grondstoffen speelt nu economisch nog geen noemenswaardige rol, maar dat kan in de toekomst veranderen als het gaat om de herkomst van duurzame grondstoffen (certificering). Er bestaan echter wel goede (ook wetenschappelijke) studies naar upstream emissies, zodat toch een goede indruk van de scope 3 upstream emissies van Chemelot kan worden verkregen.

**Scope 3 Downstream emissies** zijn te relateren aan het gebruik downstream, buiten de entiteit, van (tussen)producten gemaakt binnen de entiteit. Deze omvatten emissies als gevolg van verdere verwerking van het (tussen)product naar consumentenproducten, het gebruik van het product door de consument en het lot van het product aan het eind van de levensduur als afval. Dit is complex, omdat consumentenproducten vaak uit meerdere onderdelen en materialen zijn samengesteld van diverse en vaak niet meer naspeurbare herkomst. Hiermee betreden we dan een grijs gebied: de diepere oorzaak van scope 3 downstream emissies behalve zijn niet altijd helder. De vraag doet zich dan bijvoorbeeld voor of een upstream producent wel verantwoordelijk kan worden gehouden voor het gebruik van een product door een consument die hierin immers ook een eigen verantwoordelijkheid heeft.

Een notoire en voor de petrochemie zeer belangrijke uitzondering hierop is de zogenaamde End of Life emissie van kunststoffen. Dit zijn CO<sub>2</sub>-emissies die optreden als afgedankte kunststofbevattende producten (afval) worden verbrand of langzaam ontleden in het milieu (als zwerfvuil of in vuilnisbelten). De omvang van deze “scope 3 downstream End-of-Life emissie” is objectief en kwantitatief te relateren aan de hoeveelheid koolstof in het productafval. Daarmee komt de producent van plastic dat in het product is verwerkt in beeld: de petrochemie. Indien zij fossiele grondstof in de productwaardeketens brengen, dan leidt dit aldus na verloop van tijd tot additionele fossiele CO<sub>2</sub>-emissies<sup>39</sup> die evenredig zijn aan de hoeveelheid fossiele koolstof in het productafval. Binnen het bredere scala van scope 3 Downstream emissies is het deze factor: ‘fossiel grondstofgebruik in producten in relatie tot hieraan gerelateerde fossiele emissies end-of-life verspreid in de tijd’ waarop meestal wordt bedoeld als sprake is van ‘scope 3 Downstream emissies van kunststoffen’. Ook in dit document wordt deze interpretatie gehanteerd. Er bestaan alternatieve koolstofbronnen die de petrochemie als grondstof kan gebruiken en waarmee de bovengenoemde fossiele emissies in de toekomst kunnen voorkómen. Twee hiervan zijn biograndstoffen en CO<sub>2</sub> (hoofdstuk 4). De petrochemische industrie kan hierop in principe overschakelen. Dat geldt ook voor de derde alternatieve koolstofbron: koolstof in productafval. Door hergebruik (recyclage) van kunststof wordt de hieraan te relateren scope 3 end-of-life emissie voorkomen. Dit draagt niet alleen bij aan vermindering van de klimaatopwarming, maar ook aan alle grondstofgebruik, omdat recyclage de vraag vermindert naar alle nieuw virgin materiaal, om het even of het nu biograndstof, CO<sub>2</sub> of nieuwe fossiele koolstof bijv. uit aardolie is.

Net als bij scope 3 upstream kunnen Chemelots scope 3 downstream emissies binnen en buiten Nederland plaatsvinden. Dit wordt voornamelijk bepaald door de hoeveelheid over de landsgrenzen geëxporteerd product (en eventuele import van afval). Het Nederlandse scope 1 deel van Chemelots scope 3 downstream emissies komt van Chemelot producten in afval voor Nederlandse afvalverbranders (CO<sub>2</sub>) of vuilnisbelten (langzame emissie van CO<sub>2</sub> en CH<sub>4</sub>).

## 1.2. Effect van fossiele grondstoffen op het klimaat

Het effect van thans in een nagenoeg lineaire economie boven de grond gehaalde en gebruikte fossiele materialen op het klimaat (olie, aard- en schaliegas, steen- en bruinkool en nog enkele) wordt aldus bepaald door hun binnen relatief korte tijd nagenoeg volledige omzetting in CO<sub>2</sub>. Dit gebeurt bij gebruik als brandstof en in de tijd vertraagd bij gebruik als grondstof: het duurt wat langer alvorens het wordt afgedankt, alsnog verbrand, of in het milieu verteert. Omschakeling op biomassa of CO<sub>2</sub> als grondstof voorkomt dit, maar kost (extra) energie, die daarvoor dus CO<sub>2</sub>-vrij moet zijn. Een circulaire economie die kunststoffen recycleert, houdt koolstof – ook die op fossiele basis – langer en beter in omloop en vertraagt en verdunt CO<sub>2</sub> emissies aldus in de tijd, omdat verhoudingsgewijs minder virgin fossiel materiaal in omloop hoeft te worden gebracht. Voor wat betreft de chemische industrie luidt de conclusie dan ook, dat hoeveelheid virgin fossiele koolstof die de chemische industrie in zijn chemische producten 1 op 1 weet te vervangen door koolstof uit afval, biomassa of CO<sub>2</sub>, een kwantitatieve maat is voor toekomstig voorkómen CO<sub>2</sub>-emissies ten opzichte van het gebruik van virgin fossiel materiaal in die producten. Op de relatief korte termijn van enkele jaren geeft dit hetzelfde effect op het klimaat als de reductie van scope 1 emissies (Geyer).

<sup>37</sup> Zie bijv. <https://www.carbontrust.com/resources/briefing-what-are-scope-3-emissions> of <https://www.rvo.nl/actueel/evenementen/inspiratietours-co2-reductie-industrie-scope-1-2-en-3-uitstootverlaging-de-keten>

<sup>38</sup> en dus met uitzondering van de eigen scope 1 en 2 bijdrage, indien scope 3 wordt gezien vanuit de eigen entiteit

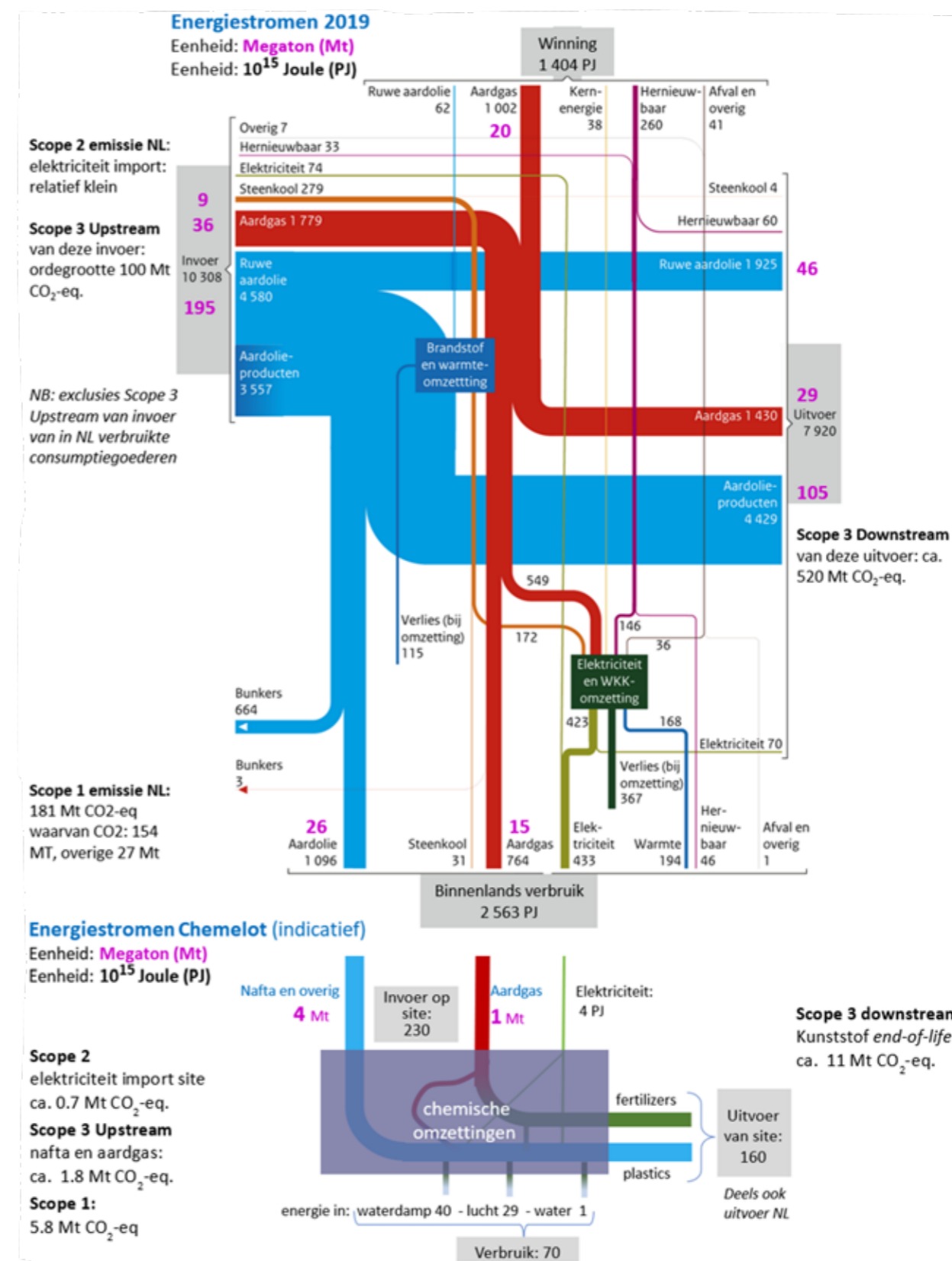
<sup>39</sup> De fossiele emissies van hedendaags gefabriceerd product vinden verspreid in de toekomst plaats, wat wordt bepaald door de hold-up tijd van koolstof in de diverse productapplicaties. Voor verpakking is de hold-up tijd kort (maanden), voor applicaties in de bouw (een kleine minderheid) bedraagt dit decaden. Een goede uitleg is te vinden bij R. Geyer c.s., Production, use, and fate of all plastics ever made, Science Advances, vol 3, issue 7, 2017.

### 1.3. Internationale samenhang van emissies

Gezien de gunstige geografische ligging en transportmogelijkheden heeft Nederland een relatief grote economische activiteit en daaraan verbonden proces- en chemische industrie op het gebied van de import, verwerking en export van fossiele grondstoffen en op basis hiervan vervaardigde (half)fabrikaten. In figuur A1.1<sup>40</sup> is de Nederlandse invoer, doorvoer, het eigen verbruik en de export van steenkool, aardgas en aardolie in 2019 weergegeven, alsmede de energie<sup>41</sup> die deze producten bevatten.

In totaal bedroeg de import 240 Mt olie(product), steenkool en aardgas, alsmede winning van 20 Mt aardgas uit nationale bronnen. De totale hoeveelheid energie in al deze fossiele grondstoffen bedroeg meer dan 11000 PJ. Het Nederlandse verbruik hiervan bedroeg samen echter 'slechts' 3000 PJ, hetgeen betekent dat een bijna driemaal zo grote hoeveelheid van de geïmporteerde energie het land uiteindelijk weer verlaat. Het betreft hier dus deels de energie-inhoud van directe doorgevoerde producten (m.n. aardolie), en daarnaast de energie-inhoud van in Nederland bewerkte en uitgevoerde aardolieproducten zoals brandstoffen, chemicaliën en kunststoffen waaronder een deel van die van Chemelot. De specifieke positie van de chemische industrie op Chemelot in het totaal van het nationale in- en uitvoerstromen is rechts in het stroomdiagram weergegeven.

In deze figuur zijn naast de grondstof- en energiestromen tevens de hieraan verbonden scope 1, 2 en 3 emissies vanuit Nederlands- en Chemelot perspectief weergegeven. Zoals eerder vermeld, bedroeg de Nederlandse scope 1 emissie in 2019 ca. 181 Mt CO<sub>2</sub>-eq. De Nederlandse netto scope 2 emissie is ten opzichte hiervan vrijwel verwaarloosbaar omdat de hieraan ten grondslag liggen elektriciteitsopwekking grotendeels binnen Nederland plaatsvindt en de emissie daarvan onderdeel is van de scope 1 emissie. De door winning en transport van grondstoffen aanvullend veroorzaakte upstream scope 3 emissie heeft een ordegrootte 100 Mt CO<sub>2</sub>-eq. De downstream scope 3 emissie – die direct gekoppeld is aan de totale hoeveelheid koolstof aanwezig in aardgas, aardolie en steenkool – bedraagt ca. 520 Mt CO<sub>2</sub>-eq. In totaal betreft de nationale aan import, verwerking en doorvoer van fossiele grondstoffen verbonden scope 1,2,3 emissie daarmee ca. 800 megaton CO<sub>2</sub>-eq. Deze is exclusief de upstream scope 3 emissie van elders geproduceerde goederen en voedselbestanddelen die een ordegrootte heeft van ca. 200 Mt CO<sub>2</sub>-eq.<sup>42</sup> en waarmee de totale Nederlandse scope 1,2,3 emissie in 2019 uitkomt op ca. 1000 Mt CO<sub>2</sub>-eq. Over 30 jaar zal dit als gevolg van internationale inspanningen dus moeten zijn teruggebracht tot klimaatneutraal.



Figuur 12: Nederlandse energiestromen en scope 1, 2, 3 emissies in 2019. Roze cijfers: megatonnen, bijv. bij invoer linksboven: steenkool (9), aardgas (36), ruwe aardolie en aardolieproducten (195 Mt). Zwarte cijfers: Petajoules PJ, bijv. bij invoer 10308 PJ

<sup>40</sup> Bron: CBS

<sup>41</sup> Weergegeven in PetaJoule (PJ). Één Petajoule is voldoende energie om het water van 1400 olympische zwembaden aan de kook te brengen.

<sup>42</sup> PBL, 2015. Data over de scope 3 Upstream emissie van de Nederlandse binnenlandse consumptie zijn schaars

#### 1.4. Klimaat en beleid

Zoals reeds vermeld, vormt het terugdringen van de scope 1 emissie van de industrie een belangrijke pijler van het huidige Nederlandse beleid. Het mag echter duidelijk zijn dat het klimaat geen onderscheid maakt tussen scope 1, 2 of 3. Dat houdt in dat voor de hierboven beschreven 'koolstof in kunststoffen', de petrochemische industrie en eventueel hiermee samenwerkende entiteiten een belangrijke stap kunnen zetten in de bestrijding van broeikasgassen, namelijk de vervanging van fossiele koolstof in zijn producten door niet-fossiele koolstof. Nederlands overheidsbeleid op het gebied van scope 3 Downstream emissies ontbreekt echter momenteel. Hierdoor wordt een essentiële mogelijke bijdrage van de petrochemische industrie op klimaatgebied momenteel niet adequaat gestimuleerd.

De Nederlandse chemie is een wereldspeler die het merendeel van haar producten over de landsgrenzen exporteert. Door het voortouw te nemen bij de vervanging van fossiele koolstofbronnen voor vervaardiging van kunststoffen en chemische producten door niet-fossiele koolstof uit (kunststof)afval en biograndstoffen, kan de Nederlandse petrochemische industrie en specifiek die op Chemelot de vergroening van producten en reductie van daaraan verbonden emissies wereldwijd beïnvloeden. Bij het ontbreken van voldoende stimuleringsbeleid is internationale marktwerking echter het enige andere mechanisme dat bepalend is voor op gang brengen van de transitie naar niet-fossiele grondstoffen en op basis daarvan vervaardigde duurzame producten. Vanwege de hogere kosten van niet-fossiele grondstoffen en daarop gebaseerde producten stijgt de marktvraag echter slechts geleidelijk, wat de benodigde miljardeninvesteringen, ook voor potentiële sleutelspelers op Chemelot, bemoeilijkt. Gezien het internationale karakter van de chemie en kunststoffen markt dient beleid op Nederlands- en Europees niveau te worden ontwikkeld. Om op dit gebied proactief en initiërend voor overheidsbeleid te handelen is de vervanging van fossiele grondstoffen door duurzame alternatieven een hoofdaandachtspunt voor Brightsite.

## ANNEX 2

### *Chemelot Circular Hub*

#### **What is a Hub for Circularity?**

The concept for Hubs for Circularity (H4C) has been introduced in the Processes4Planet's (former SPIRE) vision, supported by the European Commission. Chemelot Circular Hub is inspired by this concept. H4Cs are self-sustaining economic industrial ecosystems for full-scale Industrial-Urban Symbiosis and Circular Economy. They are closing energy, resource and data loops and bringing together all relevant stakeholders, technologies, infrastructures, tools and instruments necessary for their incubation, implementation, evolution and management. In a H4C the process industry teams up with the regional community, research/academia, the public sector and society, applying disruptive innovation and design to recycle to arrive at new sustainable business models, industries and residents' involvement.

De afgelopen jaren werd steeds duidelijker dat alleen technologieontwikkeling niet volstaat voor een succesvolle transitie van de site naar 2050. Dit blijkt al uit de zich buiten het eigen controlegebied bevindende sitegrens-overschrijdende aspecten van programma-elementen (zie 3 en 4b), waar logistieke en niet-technologische aspecten spelen zoals de ontwikkelbaarheid van bronnen voor hernieuwbare grondstoffen, aanvoercapaciteit van CO<sub>2</sub>-vrije elektriciteit en gebruik van restwarmte buiten de site. Daarnaast spelen hierop aansluitende vraagstukken, zoals tractie uit de markt voor duurzame producten, de beschikbaarheid voor Chemelot van voorlopig schaarse duurzame grondstoffen en elektriciteit, de nieuwe omgevingswetgeving (participatie), de opleiding en aantrekking van engineers voor circulariteit. De laatste tijd let de EU bij toekenning van publieke middelen inmiddels veel sterker op integraal regionaal maatschappelijk draagvlak, wat erin resulteert dat de EU bij toekenning van zijn middelen aan grote projecten zoals die op Chemelot nodig zijn, met name de inbedding in de (beoogde duurzame) maatschappij en het maatschappelijk draagvlak toetst. Chemelot Circular Hub<sup>43</sup> is opgericht met het doel tot consortia te komen die deze vereiste integraliteit op grond van de autonome bijdragen van de partners bijeenbrengen en gezamenlijk middels integrale ontwikkelingsconsortia realiseren.

Brightsite stemt als één van de CCH partners zijn programma's inhoudelijk en strategisch-tactisch af met de CCH-partners onder behoud van eigen verantwoordelijkheden. Door middel van zijn systeembenadering, modelleringsexpertise, integrale transitiekennis, opschaalkennis en kennis van duurzame chemische technologieën ontwikkelt Brightsite de komende tijd unieke competentie met het potentieel daarmee uit te groeien tot een regionaal en landelijk belangrijk kenniscentrum.

<sup>43</sup> <https://www.brightlands.com/brightlands-chemelot-campus/circular-hub>

## Wilt u met ons samenwerken?

Groene chemische industrie is duurzaam, innovatief en concurrerend. Als Brightsite kunnen we als geen ander een impuls geven aan de ontwikkeling en commerciële toepassing van innovatieve technologieën die nodig zijn om de klimaatdoelstellingen te halen.

**Brightsite**  
Transforming industry

Proud partners Sitech Services • TNO • Maastricht University • Brightlands Chemelot Campus

[brightsitecenter.com](https://brightsitecenter.com)