



Planbureau voor de Leefomgeving

VERKENNING ENERGIETRANSITIE INDUSTRIECLUSTER ROTTERDAM

Achtergrondstudie

Ton van Dril, Robert Koelemeijer, Dick van Dam

29 maart 2021

PBL

Verkenning energietransitie industriecoluster Rotterdam

© PBL Planbureau voor de Leefomgeving

Den Haag, 2021

PBL-publicatienummer: 4573

Contact

robert.koelemeijer@pbl.nl

Auteurs

Ton van Dril, Robert Koelemeijer, Dick van Dam

Redactie figuren

Beeldredactie PBL

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Van Dril, T., Koelemeijer, R., Van Dam, D. (2021), Verkenning energietransitie industriecoluster Rotterdam, Den Haag: PBL.

Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) is het nationale instituut voor strategische beleidsanalyses op het gebied van milieu, natuur en ruimte. Het PBL draagt bij aan de kwaliteit van de politiek-bestuurlijke afweging door het verrichten van verkenningen, analyses en evaluaties waarbij een integrale benadering vooropstaat. Het PBL is voor alles beleidsgericht. Het verricht zijn onderzoek gevraagd en ongevraagd, onafhankelijk en wetenschappelijk gefundeerd.

Inhoud

BEVINDINGEN	4
VERDIEPING	7
1 Inleiding	7
1.1 Onderzoeksvragen	7
1.2 Aanpak	8
2 Rotterdam nu	9
2.1 Overzicht industriecluster Rotterdam	9
2.2 Kenmerken cluster Rotterdam	10
2.2.1 Ontstaansgeschiedenis	10
2.2.2 Infrastructuur	11
2.2.3 Aardolie en petrochemie	12
2.2.4 Voedingsgrondstoffen, biomassa, reststromen	14
3 Clustervoordelen en clusterkansen	15
3.1 Theorie industriële clusters	15
3.2 Voorbeelden samenwerking in Rotterdam	15
3.3 De rol van clusters in de verduurzaming	16
4 De opgave: werken op drie niveaus	17
4.1 Wat zijn de belangrijkste keuzes?	17
4.2 Waar moet het uiteindelijk naar toe?	19
4.2.1 Doelen en ambities in de Rotterdamse Havenvisie 2019	19
4.2.2 Wuppertal Instituut	20
4.2.3 VNCI Roadmap	21
4.2.4 Overige studies	22
4.2.5 Eindbeelden vanuit de interviews	22
4.2.6 Bevindingen over eindbeelden	23
4.3 Welke oplossingsrichtingen worden nu gekozen?	24
4.3.1 Oplossingsrichtingen in de verkenningen en sectorale roadmaps	25
4.3.2 Technologie- en infrastructuurverkenningen	26
4.3.3 Dilemma's over technologische richtingen uit de interviews	27
4.3.4 Bevindingen over technologische richtingen	29
4.4 Welke projecten worden gerealiseerd?	31
4.4.1 Porthos	31
4.4.2 H-vision	32
4.4.3 Restwarmte voor de gebouwde omgeving	33
4.4.4 Stoompijp Botlek	34
4.4.5 Waste-to-chemicals (W2C Rotterdam)	34
4.4.6 Bevindingen over projecten	35
4.4.7 Beoordelingskader projecten	35
5 Aanknopingspunten voor beleid	37
5.1 Eindbeelden	37
5.2 Technologische richtingen	37
5.3 Projecten	38
6 Bibliografie	39

BEVINDINGEN

In deze studie is de dynamiek van de energietransitie onderzocht van het industriële cluster Rotterdam. Dit is gedaan aan de hand van beschikbare plannen en onderzoeken en via interviews met experts. We hebben de energietransitie geanalyseerd op drie niveaus. Ten eerste hebben we bekeken welke duurzame lange-termijneindbeelden er voor Rotterdam worden voorzien. Ten tweede hebben we gekeken welke technologische richtingen in Rotterdam worden gekozen op weg naar deze duurzame toekomst, en hoe dat doorwerkt in het cluster en in de industriële ketens. Ten derde hebben we in kaart gebracht hoe het staat met concrete projecten die nu in voorbereiding zijn, inclusief de daarvoor te ontwikkelen infrastructuur in Rotterdam. Ten slotte kijken we wat er aan aanvullend nationaal beleid gewenst is voor het cluster, in aanvulling op de CO₂-heffing en de SDE++. De belangrijkste bevindingen zijn als volgt.

Duurzame eindbeelden: de gewenste toekomstsituatie

De Havenvisie en het Rotterdams klimaatakkoord geven aan dat voor 2050 wordt gestreefd naar een CO₂-neutrale raffinage en chemie en een circulair haven- en industriecomplex. De ambities van Rotterdam over sterke emissiereductie en CO₂-neutraliteit sluiten aan op de nationale en Europese doelen. Wat echter nog ontbreekt is een realistisch beeld over welke omvang van energie- en materiaalstromen in Rotterdam past of wordt nagestreefd in het gewenste eindbeeld. Dat betreft onder andere de omvang van CO₂-opslag en van het grondstofvolume voor de organische chemie.

Hoewel er consensus is over de afnemende productie van motorbrandstoffen door de raffinagesector, zal een circulaire haven en industrie ook een kleinere omvang van de basischemie tot gevolg hebben. Circulair gebruik van kunststoffen zal op lange termijn vooral plaats moeten vinden door hergebruik en mechanische recycling. Internationaal gezien is de huidige schaal van gebruik van koolstofhoudende grondstof voor de chemische industrie onhoudbaar in een meer circulaire materiaalhuishouding. Een visie is nodig op de rol die Rotterdam daarin gaat nastreven.

Technologische richtingen: kiezen voor oplossingen

Door de meeste studies en experts is aangegeven dat er geen technische oplossingen voor de verduurzaming moeten worden uitgesloten. Volgens de geraadpleegde experts moet dus gestart worden met alle belangrijke opties: elektrificatie, blauwe en groene waterstof, geothermie, CO₂-opslag en hergebruik (CCS en CCU), biomassatoepassingen en plasticrecycling. Dat neemt niet weg dat deze keuzes elkaar in de weg kunnen zitten. Als een technologische oplossing succesvol tot ontwikkeling is gebracht in Rotterdam, kan dat het moeilijker maken voor andere, mogelijk duurzamer technologie.

Van CCS wordt de komende decennia een belangrijke bijdrage verwacht om de klimaatdoelstellingen in het gewenste tempo te realiseren. Het is echter onduidelijk welke rol CCS op lange termijn in Rotterdam moet krijgen en hoe lang het nodig is om fossiel energiegebruik voort te zetten en de CO₂ ervan op te slaan. Veel studies laten nog open hoe en wanneer fossiel energiegebruik en CCS worden verminderd. CCS kan in Rotterdam door relatief lage kosten en groot potentieel op langere termijn de opschaling van meer duurzame technologische richtingen vertragen. Om een voorbeeld te geven: op termijn kan waterstof als CO₂-vrije energiedrager zowel met fossiel aardgas als met hernieuwbare elektriciteit geproduceerd worden. Voor productie op basis van aardgas is het wel noodzakelijk om CCS te blijven toepassen. Dit kan de ontwikkeling van waterstof op basis van hernieuwbare elektriciteit belemmeren.

Elektrificatie voor warmtevoorziening van productieprocessen komt aarzelend van de grond. De elektrische boiler lijkt nu in Rotterdam een optie met voldoende technisch en economisch potentieel die toepasbaar is in bestaande situaties. De elektrische boiler lijkt vooral een rol te krijgen als mogelijkheid om wisselingen in hernieuwbare elektriciteitsproductie op te vangen. Dat komt omdat vollast-elektrificatie met elektrische boilers voorlopig onvoldoende wordt ondersteund met de SDE++-exploitatie-subsidie. Bovendien wordt elektrificatie onzeker door de waterstofperspectieven op lange termijn. Waterstof zou kunnen doorbreken als energiedrager en als opslagmedium om de wisselingen in hernieuwbare elektriciteitsproductie op te vangen. Grote aanpassingen in de elektriciteitsinfrastructuur en een kostbare omschakeling op elektrische verwarmingstechnieken zijn misschien niet nodig als er tijdig voldoende en betaalbare waterstof beschikbaar komt. Dit leidt tot een aarzelende houding van de industrie en markt. De omvang, infrastructuur, basislastmogelijkheden en betaalbaarheid van CO₂-neutrale elektriciteit worden in sterke mate door beleid bepaald. Wanneer de overheid voor deze aspecten meer duidelijkheid biedt, vermindert dat de onzekerheid bij marktpartijen waardoor meer optimale keuzes kunnen worden gemaakt.

Projecten

De voortgang in de verduurzaming is volgens de geraadpleegde experts het meest overtuigend waarneembaar in concrete projecten, meer dan in roadmaps of scenariostudies. Bij de projecten wordt zichtbaar wie de investeringen gaat doen en wie zich daarmee committeert aan verduurzaming. Transitieprojecten in een cluster als Rotterdam zijn grootschalig en specifiek voor het regionale systeem. Er is een grote hoeveelheid plannen ontwikkeld voor Rotterdam, waarvan een flink aantal zich echter nog niet in de concrete voorbereidingsfase bevindt. Wel hebben bedrijven in het najaar van 2020 aanvragen ingediend voor de SDE++, waaronder de partijen betrokken bij het CCS-project Porthos. Deze plannen en SDE++-aanvragen wijzen op een nieuwe stap in de verduurzaming van de industrie, waarbij voor de eerste keer CCS op industriële schaal zal worden toegepast en waarbij stappen worden gezet richting elektrificatie van de warmtevoorziening. Voor een geschikte financiële ondersteuning wordt vooral naar het instrumentarium van de rijksoverheid gekeken. De inrichting van de SDE++ volstaat nu niet om een aantal specifieke grootschalige projecten kostendekkend te realiseren. Het is nog niet duidelijk of en hoe het instrumentarium wordt aangepast om ook projecten in specifieke situaties mogelijk te maken.

Ook kunnen er ongelijke situaties ontstaan voor de individuele industrieën door specifieke beperkingen van de subsidiemogelijkheden, in combinatie met beschikbaarheid van infrastructuur en het individuele effect van de nationale CO₂-heffing. De overheid is nog onduidelijk over de mate waarin in individuele situaties bedrijven worden meegeholpen in de transitie. Bedrijven in het cluster Rotterdam lijken ten opzichte van andere clusters echter in het voordeel door de ligging aan zee, de bestaande infrastructuur en de mogelijkheden voor verdere ontwikkeling daarvan.

Clustervoordelen

De eindbeelden laten een duidelijke samenhang zien tussen de vernieuwde activiteiten in het cluster Rotterdam, uitgaande van de huidige activiteiten en producten. Ook worden mogelijke aanvullingen op het cluster geschetst in de vorm van nieuwe industrie en nieuwe aanvoerstromen. Schaalgrootte is een belangrijk clustervoordeel, bij uitstek voor waterstof en CCS. De in de loop van de tijd geoptimaliseerde verbindingen van energie- en materiaalstromen tussen bedrijven moeten mogelijk veranderen. Efficiënte verbindingen met nieuwe energiedragers en materialen in het cluster ontstaan niet onmiddellijk en zullen verder moeten worden ontwikkeld.

De industrievestigingen in Rotterdam moeten werken binnen strenge financiële kaders, zijn soms elkaars directe concurrenten, en zijn gehouden aan mededingingsregels. Dat maakt hen terughoudend met het delen van de eigen plannen en het maken van clusterplannen. Dit

kan realisatie van de mogelijke clustervoordelen beperken of vertragen. Bovendien heeft de aanleg van nieuwe infrastructuur een lange doorlooptijd. De industrie heeft daarom groot belang bij een snelle besluitvorming over capaciteiten, locaties en realisatietermijnen van nieuwe infrastructuur voor CO₂, elektriciteit en restwarmte. De overheid beoogt deze besluitvorming te versnellen, onder andere via het Programma Infrastructuur Duurzame Industrie (PIDI). In dit verband wordt gewerkt aan Cluster Energiestrategieën (CES-en). Of dit zal leiden tot voldoende versnelling is nog niet aan te geven.

VERDIEPING

1 Inleiding

Er zijn vijf grote industriële clusters in Nederland. Daarnaast zijn er bedrijven die behoren tot de zware¹ industrie, maar die veel meer verspreid zijn over het land (bv. papierindustrie of keramische industrie, ook wel aangeduid als 'cluster 6'). De voordelen van nabijheid in clusters gaan gepaard met onderlinge afhankelijkheden. Veranderingen kunnen leiden tot een bijzondere dynamiek binnen een cluster. We bekijken deze dynamiek voor het cluster Rotterdam en bezien welke implicaties de clustering heeft bij verduurzaming.

Sinds de jaren dertig van de vorige eeuw is het havengebied van Rotterdam, mede door zijn gunstige ligging, uitgegroeid tot de belangrijkste locatie van zware industrie in Nederland. Het is voor Noordwest-Europa aan de Rijnmond een belangrijke plaats waar per schip goederen uit de rest van de wereld worden aangevoerd. Aardolie is daarvan het belangrijkste bulkgoed, in het gebied liggen vijf raffinaderijen. Ook voor containervervoer is Rotterdam de grootste en belangrijkste haven in Europa.

Rondom de raffinaderijen is de belangrijkste zware chemische industrie ontstaan. Zo hebben Shell en ExxonMobil direct bij de raffinaderijen gelegen chemische fabrieken. Daaromheen heeft zich een groot aantal bedrijven gevestigd dat direct olieproducten afneemt, vaak per pijpleiding. Daardoor is een uitgebreide en gespecialiseerde infrastructuur ontstaan, zowel voor materialen, hulpstoffen, energiedragers (waterstof, stoom, industriële gassen, aardolieproducten) en water. Door die sterke samenhang zijn economische voordelen ontstaan, wordt energie efficiënter benut, en zijn ook materiaalkringlopen meer gesloten.

Het mondiale klimaatbeleid en de veronderstelde afnemende betekenis van aardolie gaan grote invloed hebben op het cluster Rotterdam. In dit rapport wordt geanalyseerd hoe de voortgang is van de transitie, welke voor- en nadelen de sterke samenhang heeft voor de verduurzaming van de productieprocessen, en op welke punten de overheid de transitie verder zou kunnen ondersteunen.

1.1 Onderzoeksvragen

Het onderzoek beoogt nader inzicht te geven in de te verwachten ontwikkelingen rond de energietransitie van de industrie in cluster Rotterdam, zowel op de termijn tot 2030 als op langere termijn, tot 2050. Welke bedrijfsgrensoverschrijdende projecten maken kans, naast individuele projecten? Waar lopen bedrijfsgrensoverschrijdende projecten tegenaan? Welke plannen zijn er voor de verduurzaming van het hele cluster? Zijn er fases te benoemen en hoe ziet de eerste fase er uit? Zijn er zaken die de rijksoverheid nader moet oppakken om de verduurzaming te laten slagen?

Specifiek wordt ook verkend wat voor- en nadelen van een cluster als Rotterdam kunnen zijn. Welke extra dynamiek kan er in het cluster ontstaan tussen bedrijven onderling door de fysieke nabijheid? Leidt deze dynamiek ook tot een consistent fysiek en economisch beeld op

¹ Met 'zware' wordt bedoeld de industrie die valt onder het Europese emissiehandelssysteem en de nationale CO₂-heffing. Het betreft vooral de energie-intensieve productie van basismaterialen.

lange termijn? Voor Rotterdam zijn er wellicht specifieke voordelen ten opzichte van landinwaarts gelegen clusters, zoals directere toegang tot elektriciteit van wind op zee en korte afstand tot opslaglocaties voor CO₂ op zee.

1.2 Aanpak

Deze studie is mede gebaseerd op een momentopname van de percepties in 2020, opgetekend uit de mond van een aantal experts (zie Bijlage). Daarnaast is een groot aantal verkennde studies en plannen geraadpleegd. De beelden die naar voren komen uit plannen en studies zijn getoetst in interviews met experts in en buiten het cluster. In de gesprekken zijn onderstaande onderwerpen aan de orde gesteld:

1. De verwachte ontwikkelingen tot 2030, zoals in gang gezet door beleid en initiatieven onder het klimaatakkoord, met focus op reductie bij de industriële installaties zelf (scope 1). Welke projecten worden in Rotterdam ontwikkeld, hoe past dat in de verschillende scenario's? Wie zijn de belangrijkste initiatiefnemers en wat is hun rol? Welke beleidscenten en infrastructuurprioriteiten zijn daarvoor nodig?
2. Wat zijn de belangrijkste internationale afhankelijkheden en onzekerheden? Hoe heeft dat invloed op Rotterdam? Dit betreft de internationale energiemarkten, mondiale en Europese beleidsontwikkelingen en ontwikkelingen in andere clusters in Nederland, België en Duitsland.
3. Wat is het na te streven eindbeeld? Uitgaande van een klimaatneutraal energie- en materialensysteem, welke rol zou de Rotterdamse industrie daarin kunnen vervullen? Welke activiteiten verdwijnen en welke komen er bij? Welke input- en outputstromen (relevant voor scope 2/3 emissies) ontstaan, en hoe kan dat economisch levensvatbaar zijn?
4. Kun je vanuit die verwachte ontwikkeling komen tot dat eindbeeld? Welke initiële beleidskeuzes leiden in Rotterdam later mogelijk tot lock-ins of belemmeringen, bijvoorbeeld door omvang en ligging van infrastructuur? Is er een aanvullende rol voor het beleid om barrières die worden opgeworpen door huidige lock-ins te doorbreken?

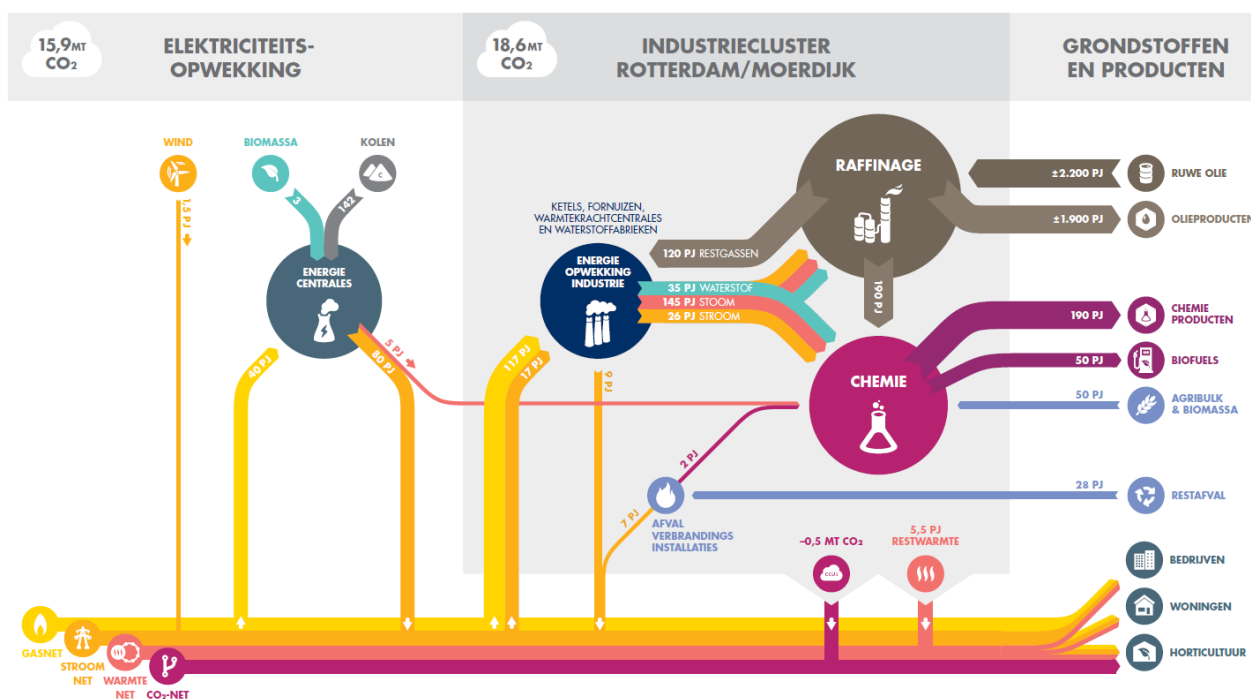
In hoofdstuk 2 wordt eerst een feitelijk beeld gegeven van de huidige situatie in het cluster, en in hoofdstuk 3 wordt een theoretisch overzicht gegeven van clustervoordelen en -kansen, deels toegepast op Rotterdam. Op basis van de interviews en studies wordt in hoofdstuk 4 de analyse gemaakt. Daarbij beginnen we met de eindbeelden, vervolgens de technologische ontwikkelingen daar naartoe, en tenslotte de concrete projecten die invulling geven aan die technologische keuzes. Uit die algemene input over nu ingezette ontwikkelingen, projecten en eindbeelden in nationale en internationale context leiden we daarbij steeds de specifieke clusteraspecten af. In hoofdstuk 5 vertalen we onze bevindingen over de perspectieven, dilemma's en belemmeringen in aanknopingspunten voor beleid. Sommige zijn clusterspecifiek, maar andere hebben ook een bredere betekenis.

2 Rotterdam nu

2.1 Overzicht industriecluster Rotterdam

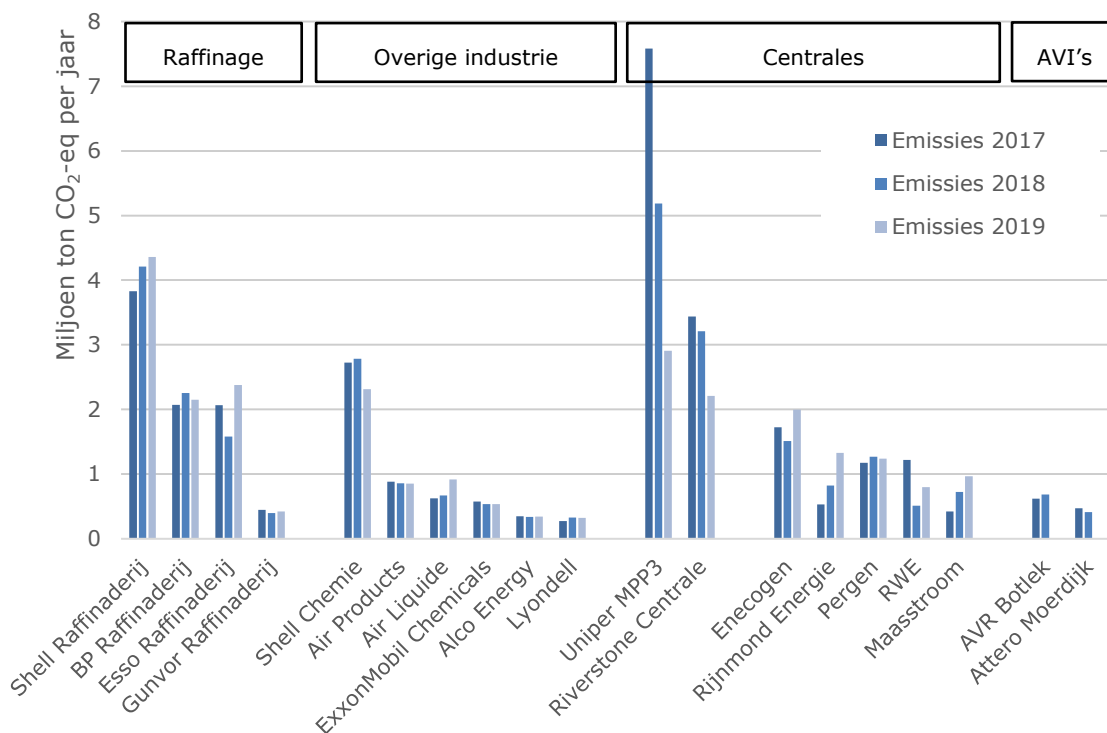
Voor de afbakening van het cluster Rotterdam worden ook de industrieterreinen bij Moerdijk en Dordrecht-West meegenomen. Korthedshalve hebben we het in dit rapport over cluster Rotterdam. In deze analyse ligt de focus op de zware¹ industrie, hoewel we ons realiseren dat er diverse interacties zijn met de elektriciteitsproductie, gebouwde omgeving, afvalverbranding en transport.

De verschillende industriële en niet-industriële sectoren zijn met elkaar verbonden door verschillende energiestromen, zoals weergegeven in Figuur 1. De industrie, met name de raffinage en de chemie, vervult hierin een centrale positie. In hun energie voorzien zij deels zelf, en deels door warmte en elektriciteit van energiecentrales die ook deel uitmaken van het cluster. Een kleinere rol in de energievoorziening is er voor afvalverbrandingsinstallaties (AVI's), die warmte leveren aan de industrie en de gebouwde omgeving. Het industriecluster levert restwarmte en CO₂ aan de gebouwde omgeving en de glastuinbouw. De CO₂-uitstoot van de Rotterdamse industrie- en energiesector gezamenlijk was ruim 34 miljoen ton (Mton) in 2016: bijna 21% van de nationale CO₂-uitstoot.



Figuur 1 Overzicht energiestromen en CO₂-uitstoot cluster Rotterdam in 2016 (Werkgroep Industriecluster Rotterdam-Moerdijk, 2018)

De belangrijkste bedrijven qua broeikasgasuitstoot in het industriecluster Rotterdam zijn weergegeven in Figuur 2. Vier raffinaderijen en enkele chemische bedrijven leveren een grote bijdrage, net als twee kolencentrales en een aantal centrales op gas. Ook twee afvalverbrandingsinstallaties dragen bij aan de broeikasgasuitstoot.



Figuur 2 Inrichtingen met grootste broeikasgasuitstoot in cluster Rotterdam-Moerdijk. Alle bedrijven met een jaarlijkse uitstoot groter dan 0,25 Mton CO₂-eq zijn getoond (NEa, 2020; Emissieregistratie, 2020)².

2.2 Kenmerken cluster Rotterdam

2.2.1 Ontstaansgeschiedenis

Clustervorming kan ontstaan op knooppunten van infrastructuur, op mijnbouwlocaties, rond steden of in vruchtbare gebieden. Bij Rotterdam was vooral de goede bereikbaarheid voor zeevaart en verbinding via de Rijn met het dichtbevolkte achterland en de Duitse industrie in het Ruhrgebied van belang.

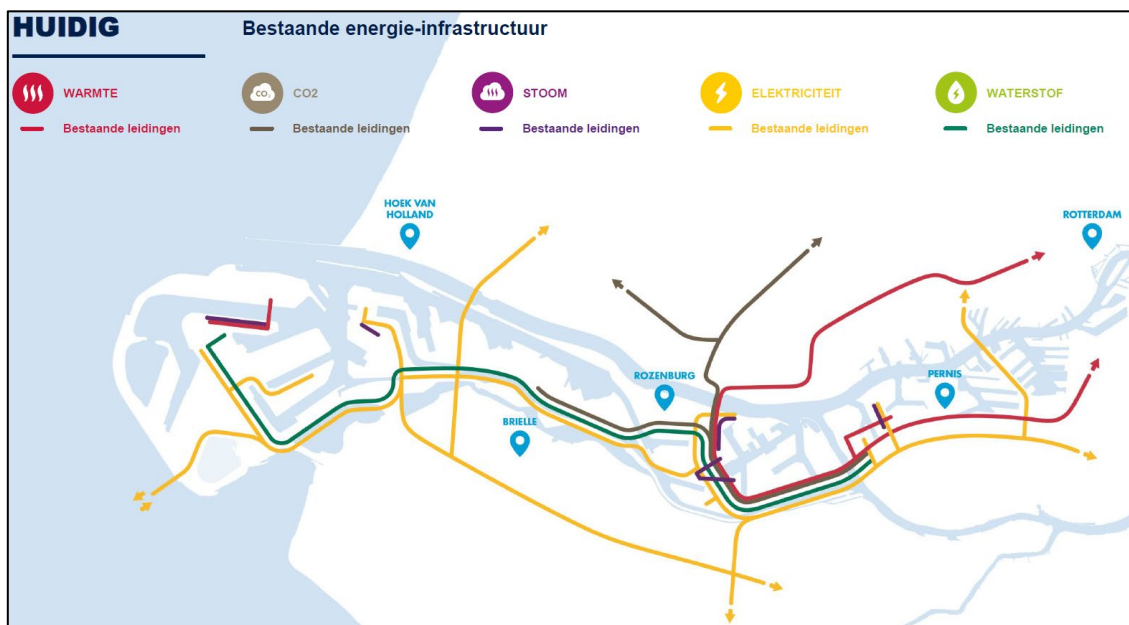
Hoewel de haven van Rotterdam al sinds de Middeleeuwen bestaat, vindt het huidige industriële complex zijn wortels rond 1900, toen enkele bedrijven startten met de opslag en verwerking van ruwe olieproducten in de Waalhaven. Gedurende de twintigste eeuw kwamen er steeds meer inrichtingen bij, zoals de raffinaderij en chemische fabrieken van Shell (vanaf jaren '30) en de raffinaderij van Texaco (na de Tweede Wereldoorlog) in Pernis. De aanleg van de Botlek, Europoort en Maasvlakte in respectievelijk de jaren '50, '60 en '70 bood ruimte voor verdere groei. In de jaren '60 werden diverse fabrieken geopend: de raffinaderij en chemische fabrieken van Esso (nu ExxonMobil) in Botlek, de raffinaderijen van Gulf Oil (nu Gunvor) en BP in Europoort, maar ook de chemische fabrieken van Dow, Akzo (nu Nouvion), ICI (nu Huntsman), Kemira en Arco (nu Lyondell) (EPCA, 2007). In de jaren '70

² Bij enkele bedrijven betreft het meer dan een inrichting. Voor de AVI's zijn alleen de fossiele emissies meegeteld.

breidde Shell uit met een industrieel complex bij Moerdijk. Met name de raffinaderijen van Shell en ExxonMobil in Pernis en Botlek zijn sterk geïntegreerd met fabrieken daaromheen (Van Santen, 2019). Zo hebben Shell en ExxonMobil zelf verschillende fabrieken waar grondstoffen voor plastics, oplosmiddelen en andere petrochemische producten worden gemaakt, maar zijn er ook sterke banden met leveranciers en afnemers, zoals Air Liquide en Air Products voor o.a. waterstof- en stoomproductie. In 2013 werd ook de Tweede Maasvlakte in gebruik genomen, waarmee ruimte is ontstaan voor verdere groei van havenactiviteiten.

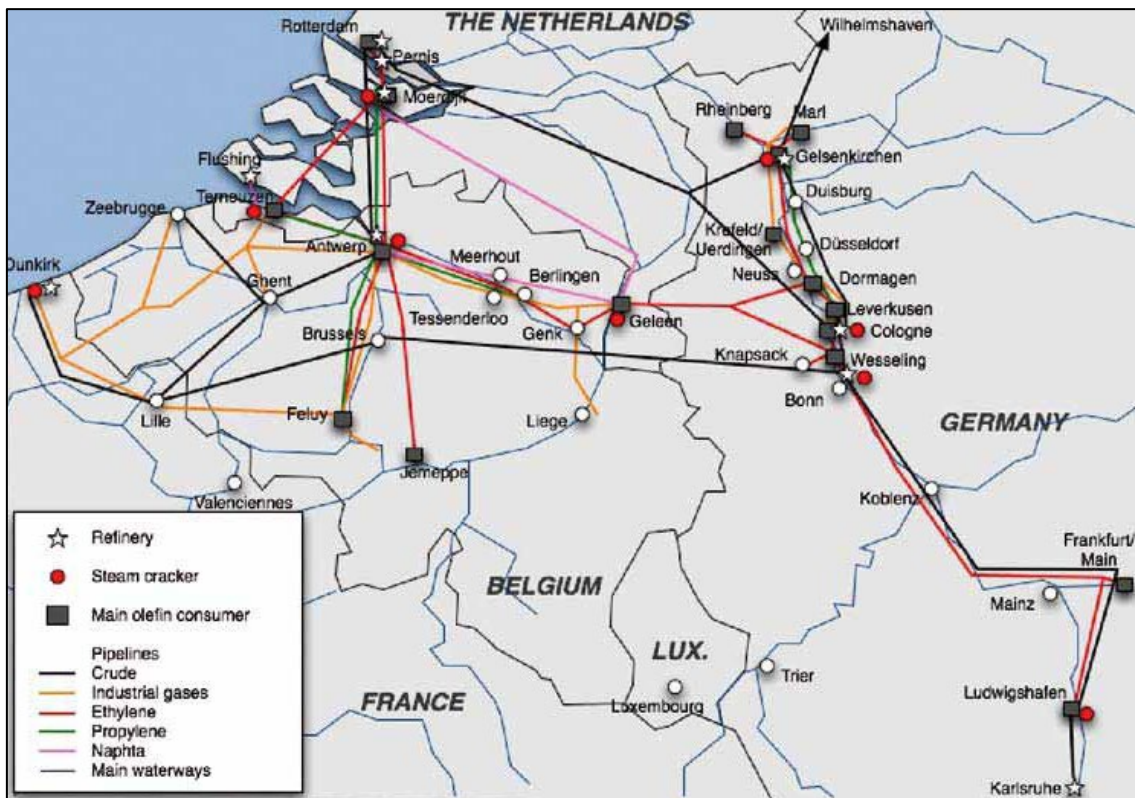
2.2.2 Infrastructuur

Met de ontwikkeling van het cluster ontstond ook een zichzelf versterkende rol van de infrastructuur, met de uitbreiding van de havens, pijpleidingen, wegennet en Betuwelijn. In de toekomst zullen elektriciteits- en warmtenetten worden versterkt en uitgebreid en er wordt gewerkt aan een meer uitgebreide infrastructuur voor waterstof en CO₂ (Van der Linden, 2019).



Figuur 3 Bestaande energie-infrastructuur in Rotterdam (Havenbedrijf Rotterdam, 2019)

Het unieke van Rotterdam lijkt niet zozeer de infrastructuur binnen het cluster maar de verbindingen naar buiten (DNVGL, 2020). Naast aansluiting op een sterke binnenlandse energie- en logistieke infrastructuur heeft het Rotterdamse industriecluster ook sterke verbindingen met Antwerpen en het Ruhrgebied (Figuur 4). Pijpleidingen naar raffinaderijen in Duitsland en België bestaan al sinds de jaren '60 (EPCA, 2007). De productiecapaciteit en de onderlinge verbondenheid van deze gebieden maakt dat ze worden gezien als een internationaal chemisch 'supercluster' ('ARRRA', naar Antwerp – Rotterdam – Rhein – Ruhr Area), waartoe ook o.a. het Limburgse Chemelot en Zeeuws-Vlaanderen worden gerekend (EPCA, 2007). Rotterdam fungeert daarbinnen als belangrijk handelsknooppunt voor aardolie, brandstoffen en chemicaliën.



Figuur 4 Overzicht van de chemische verbindingen vanuit Rotterdam (EPCA, 2007)

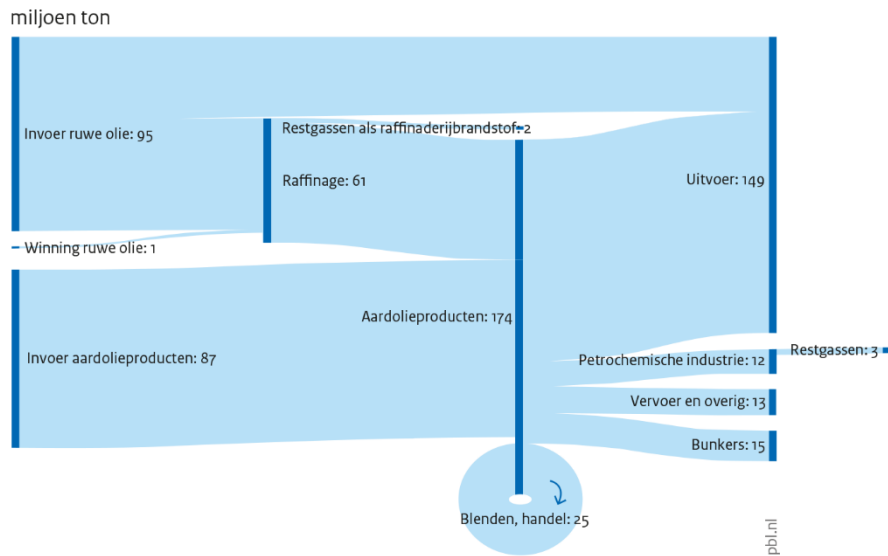
2.2.3 Aardolie en petrochemie

Aardolie en aardolieproducten spelen een belangrijke rol in Rotterdam; 38% (2019, 172 miljoen ton) in massa van alle overslag wordt gevormd door ruwe olie en minerale aardolieproducten (Port of Rotterdam, 2020).

Bijna zestig procent van de invoer van ruwe olie is bestemd voor verwerking in Nederland, de rest is bestemd voor doorvoer (CBS, 2020)³. De verwerking van ruwe olie in de raffinaderijen resulteert in aardolieproducten, die daarnaast ook worden geïmporteerd. De bestemming voor de beschikbare aardolieproducten is weergegeven in Figuur 5. Deze figuur is van toepassing op heel Nederland, aparte informatie voor Rotterdam is niet bekend.

³ Deze informatie betreft heel Nederland, dus voor zover het raffinage betreft is dit inclusief Zeeland Refinery (de andere Nederlandse raffinaderijen zijn allemaal gelegen in het industriecluster Rotterdam).

Aardolie(product)stromen in Nederland, 2018



Bron: CBS

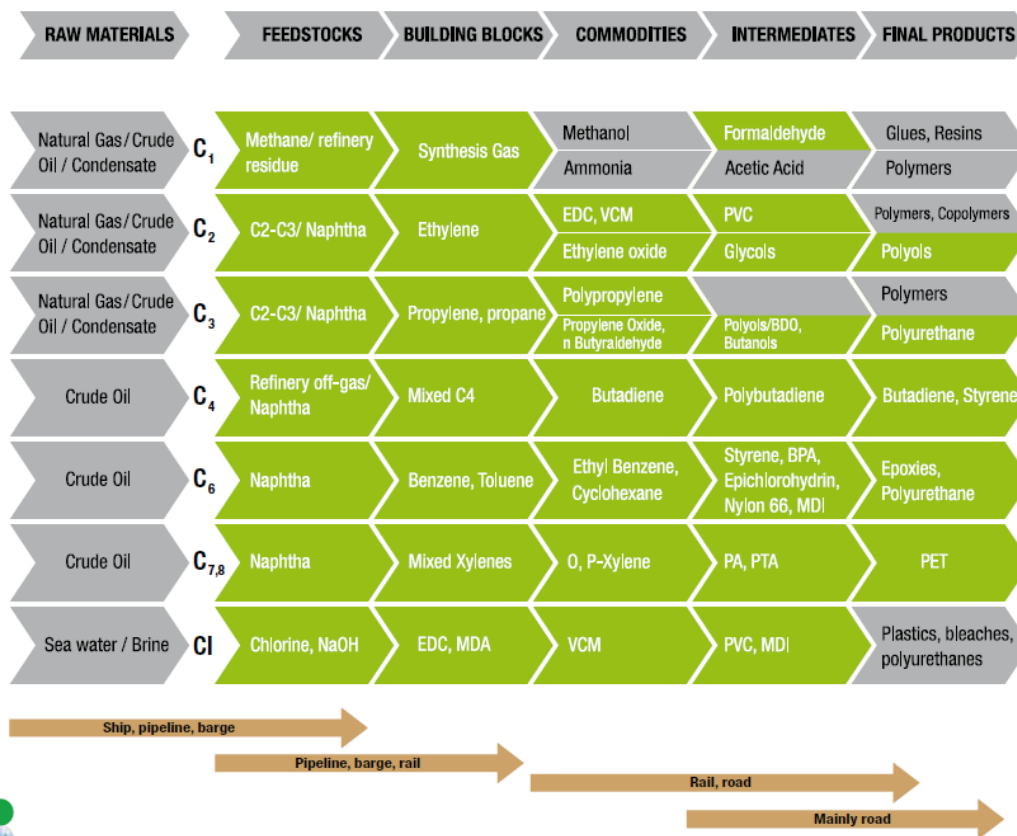
Figuur 5 Aardolie(product)stromen in Nederland uit 2018 (CBS, 2020a). Hoeveelheden zijn weergegeven in miljoen ton⁴.

De invoerhoeveelheid van aardolie en aardolieproducten heeft een energie-inhoud die een factor 2,5 tot 3 keer groter is dan het totale primaire energieverbruik in Nederland. Het verbruik van aardolieproducten en -grondstoffen in de chemische industrie (circa 12 miljoen ton) betreft vooral grond- en brandstof voor stoomkrakers (nafta en LPG), waarmee voornamelijk producten als ethyleen, propyleen, benzeen en andere koolwaterstofverbindingen worden gemaakt. Deze kraakproducten worden bij diverse bedrijven verder verwerkt tot o.a. plastics. In het Rotterdamse gebied staat alleen een stoomkraker bij Shell in Moerdijk, met een invoercapaciteit van ongeveer 3 miljoen ton. De belangrijkste tussen- en eindproducten die in Rotterdam worden gemaakt uit aardolie zijn weergegeven in Figuur 6⁵. Bijna de helft van de energie-input van de productieprocessen in het industriecluster Rotterdam komt uit restgassen van aardolie-raffinage (Werkgroep Industriecluster Rotterdam-Moerdijk, 2018).

Volgens de IEA zal de wereldwijde vraag naar olie licht toenemen tot 2030 en daarna stabiliseren, uitgaande van aangekondigd beleid (IEA, 2020). Bij beleid dat zich richt op klimaatneutraliteit in 2050 kan de vraag in 2030 zelfs al met meer dan een derde zijn afgenomen ten opzichte van die van 2019 (IEA, 2020). Om hierop te anticiperen lijkt de Rotterdamse industrie dan ook te kiezen voor een toekomst voorbij de sterke afhankelijkheid van aardolie (Werkgroep Industriecluster Rotterdam-Moerdijk, 2018).

⁴ Aardgascondensaat en recycleat als grondstof zijn weggelaten uit deze figuur.

⁵ In de rapporten van het MIDDEN-project van TNO en PBL zijn diverse petrochemische productieprocessen en hun decarbonisatie-opties in detail beschreven, zie middenweb.nl.



Figuur 6 Belangrijkste (fossiele) producten geproduceerd door de industrie in Rotterdam-Moerdijk in groen. Grijs betekent niet geproduceerd in het cluster (EPCA, 2007). Pijlen onder de figuur geven aan hoe de producten worden getransporteerd.

2.2.4 Voedingsgrondstoffen, biomassa, reststromen

Nederland is relatief sterk in voedselverwerking, toepassing van landbouwproducten in de chemie en het opwaarderen van reststromen tot verkoopbare producten. In Rotterdam is dat zichtbaar in de handel, op- en overslag, productie en verwerking van biobrandstoffen (BioPetrol, Alco Energy, Neste), eetbare oliën en oliezaden (ADM, Cargill, IOI Loders Crokiaan, Sime Darby Unimills), huis- en bedrijfsafval (AVR, Attero), bunkerolie en in de verwerkingscapaciteit van relatief zware oliefracties. De afvalverbrandingsinstallaties in Rotterdam en Moerdijk hebben samen een verwerkingscapaciteit van ongeveer 2,5 miljoen ton afval per jaar, dat is ongeveer een derde van de totale capaciteit van AVI's in Nederland en naar schatting meer dan 3% van de capaciteit in de EU (Coenrady, 2020).

De rol van Rotterdam als knooppunt voor uiteenlopende product- en reststromen kan een voordeel zijn bij omschakeling naar een meer circulaire en biobased economie. Immers, in een klimaatneutrale industrie zullen de koolstofhoudende producten voor een groot deel worden gemaakt uit reststromen en biograndstoffen (Ecofys; Berenschot, 2018), terwijl biobrandstoffen ook een veel grotere markt dan nu zullen vormen (IEA, 2020).

3 Clustervoordelen en clusterkansen

3.1 Theorie industriële clusters

Industriële clusters kenmerken zich door fysieke verbindingen tussen industriële activiteiten (EPCA, 2007). Deze verbindingen, meestal materiaal- en energiestromen, zijn gekozen door ondernemers omdat ze wederzijdse voordelen bieden. De transportkosten zijn laag en vraag en aanbods specificaties kunnen meer op elkaar worden afgestemd.

Afhankelijk van het type energie- en materiaalstroom is geografische nabijheid belangrijk. Warmte en stoom zijn alleen over korte afstand zinvol te vervoeren. Voor grote volumes vaste stoffen zijn vervoerskosten relatief beperkend. Meer hoogwaardige vloeistoffen kunnen daarentegen via pijpleidingen makkelijker over grote afstanden vervoerd worden. Voor gasen is infrastructuur met een veel groter volume nodig.

Marshall heeft in 1920 een conceptuele basis gelegd voor het denken over clusters en de economische voordelen daarvan (Marshall, 1920). Hij onderscheidt voordelen betreffende transport, uitwisseling van arbeiders en uitwisseling van ideeën (Ellison, Glaeser, & Kerr, 2010). Economisch is dat gebaseerd op schaal- en netwerkvoordelen die worden verkregen als activiteiten geografisch dicht bij elkaar zitten. Porter heeft het concept van cluster uitgewerkt en beschrijft veel voorbeelden van innovatie die ontstaat vanuit clusters, zoals Silicon Valley (Porter, 1998).

Een keerzijde van de verbindingen in een industrieel cluster is de wederzijdse afhankelijkheid. Op termijn kan de omgeving van een activiteit veranderen en kan de clusterafhankelijkheid belemmerend zijn voor noodzakelijke aanpassingen. De clusterverbinding kan minder aantrekkelijk worden en wegvallen.

3.2 Voorbeelden samenwerking in Rotterdam

Hieronder volgen enkele specifieke voorbeelden van de sterke integratie van de Rotterdamse industrie. Sommige van deze cluster-elementen en -voordelen lijken blijvend en onafhankelijk van de klimaat- en energietransitie, andere zullen een verandering ondergaan.

- Chloor wordt geproduceerd door Nouryon en geleverd via een pijpleiding aan verschillende fabrieken in de nabijheid. Shin-Etsu gebruikt de chloor voor de productie van ethyleen dichloride (EDC), vinylchloride monomeren (VCM) en polyvinylchloride (PVC) in de Botlek en Pernis. Shin-Etsu maakt hiervoor gebruik van de Multicore-pijpleiding van het Havenbedrijf en Vopak. Ook Huntsman is afnemer van de chloor van Nouryon, dat het gebruikt voor de productie van MDI (grondstof voor polyurethaan). Huntsman levert zoutzuur (waterstofchloorzuur) terug aan Nouryon, dat dan weer als grondstof voor EDC en VCM wordt gebruikt door Shin-Etsu. Hexion verbruikt chloor van Nouryon voor de productie van epichloorhydrine voor de productie van epoxyharsen in Pernis. Ook Tronox gebruikt chloor voor de productie van titaandioxide (EPCA, 2007).
- Huntsman in de Botlek produceert polyurethaan. Grondstoffen worden door Huntsman betrokken van LyondellBasell en Air Liquide en stoom en elektriciteit van Eurogen, dat

eigendom is van Air Liquide. Water dat bij Huntsman vrijkomt wordt geleverd aan Lucite en stoom gaat in tegenovergestelde richting. Huntsman levert ook stoom, water en elektriciteit aan Invista, waar het gebruikt wordt voor de fabricage van polymeren (Port of Rotterdam, 2011).

- Eveneens in de Botlek wordt stoom door afvalverwerker AVR en Cabot per pijpleiding geleverd aan Emerald Kalama Chemicals (EKC) en Tronox (AVR, 2019). Er liggen plannen voor uitbreiding van het stoomnetwerk, zodat ook o.a. Nouryon, Huntsman en Lyondell-Basell ervan gebruik kunnen maken (Kleijne, 2014).
- Het CO₂-net dat beheerd wordt door Linde onder de naam OCAP ('Organic CO₂ for Assimilation by Plants') is ook een voorbeeld van clustersynergie. Afgevangen CO₂ uit de fabrieken van Shell Pernis en Alco Energy wordt per pijpleiding getransporteerd naar diverse glastuinbouwbedrijven in het Westland (OCAP, 2020). Er zijn plannen voor uitbreiding en eventueel aansluiting op een nog te ontwikkelen netwerk voor CCS (Porthos).
- Bedrijven op de Maasvlakte (o.a. LyondellBasell) nemen stoom af van de kolencentrale MPP3 van Uniper, en leveren reststromen voor verbranding in deze centrale. Op termijn (uiterlijk 2030) zal deze stoppen met verbranding van kolen voor energieopwekking en mogelijk overgaan op biomassa. Sluiting van deze centrale zou voor de betreffende bedrijven niet alleen betekenen dat ze een alternatieve stoombron moeten vinden, maar ook een nieuwe bestemming voor hun reststromen.

3.3 De rol van clusters in de verduurzaming

Toegepast op de energietransitie in industriële clusters signaleren Janipour et al. de systeemintegratie in een cluster als een mogelijke 'carbon lock-in barrier' (Janipour, De Nooij, Scholten, Huijbregts, & De Coninck, 2020). De huidige systeemintegratie waar stoom en warmte zijn geoptimaliseerd kan een belemmering vormen voor nieuwe technologie, omdat invoering van nieuwe technieken of grondstoffen in dat systeem kan leiden tot energie- of materiaalefficiënties. Daarnaast zijn er mogelijk geen of weinig opties die de huidige processen kunnen vervangen en tegelijkertijd alle interacties in stand houden. Bovendien heeft een geïntegreerd systeem al veel voordelen van opgebouwde leereffecten en betrouwbaarheid.

De ervaring leert dat er al gauw veel spelers betrokken zijn bij ingrepen in het bestaande systeem, wat organisatorisch ingewikkeld is. Het vraagt zowel consensus tussen bedrijven als technische afstemming bij uitvoering van projecten. Hier kan dan ook een rol voor de overheid liggen om barrières rond coördinatie op te lossen.

Een voordeel van clusters kan daarentegen zijn dat maatregelen met betrekking tot infrastructuur en materiaal- en energiestromen gezamenlijk kunnen worden genomen, waardoor risico's verkleind worden. Wanneer eenmaal tot de transitie is besloten, kan deze dan ook sneller gaan dan bij geïsoleerde bedrijven (Janipour, De Nooij, Scholten, Huijbregts, & De Coninck, 2020). Een brede analyse van Europese clusters toont aan dat industriële symbiose maatschappelijke voordelen en leefomgevingsvoordelen biedt en kan bijdragen aan verbeterde circulariteit in materiaalgebruik en vermindering van afval (Domenech, Bleischwitz, Domarova, Panayotopoulos, & Roman, 2019).

De mogelijkheden voor verduurzaming in clusters kunnen groter zijn doordat veel soorten infrastructuur en samenwerking al aanwezig zijn. De Nederlandse industriële clusters zijn dan ook actief met het ontwikkelen van gezamenlijke visies en plannen (waaronder koploperprogramma's, regioplannen, clusterenergiestrategieën).

4 De opgave: werken op drie niveaus

4.1 Wat zijn de belangrijkste keuzes?

In dit hoofdstuk wordt gebruik gemaakt van verschillende analyses of rapporten waarin eindbeelden en verduurzamingsroutes worden geschetst:

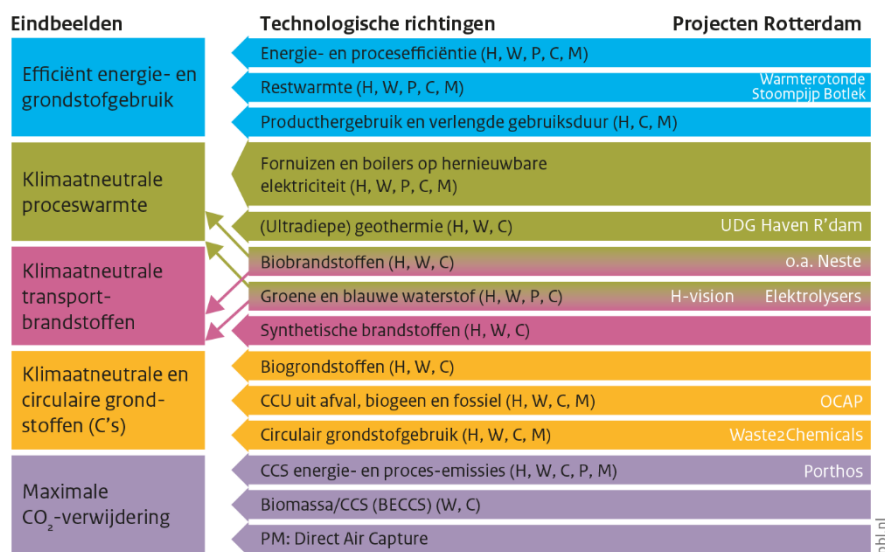
- De Havenvisie; deze heeft een actualisatie gehad in 2017 en 2019 (Havenbedrijf Rotterdam, 2019a).
- Analyses van het Wuppertal instituut, die deze analyses heeft uitgevoerd in opdracht van het Havenbedrijf (Wuppertal Institut, 2016).
- In 2019 is ook een Klimaatakkoord gesloten in Rotterdam, waar de haven en industrie een belangrijke rol spelen (Energieswitch, 2019).
- Een concrete verkenning van de raffinagesector voor Rotterdam is de routekaart van de Vereniging Nederlandse Petroleum Industrie (DNVGL, 2018).
- Daarnaast is er een aantal verkenningen op landelijke of internationale schaal die relevante aanknopingspunten voor Rotterdam bieden (Ecofys; Berenschot, 2018), (McKinsey, 2017).

Voor de transitieopgave voor Rotterdam worden op drie niveaus van abstractie afwegingen gemaakt. Deze drie niveaus worden in de volgende paragrafen behandeld, en zijn schematisch, maar niet uitputtend, weergegeven in Figuur 7. De drie niveaus zijn:

1. Welke eindbeelden voor Rotterdam zijn er in een klimaatneutrale, circulaire context?
2. Welke technologische richtingen kunnen daartoe worden gekozen voor de energie- en materialenvoorziening van Rotterdam?
3. In welke projecten in Rotterdam kan geïnvesteerd worden om dit te realiseren?

Op deze drie niveaus worden plannen gemaakt en wordt consensus gezocht door de betrokken partijen, waaronder het Havenbedrijf Rotterdam, de gemeente, de industrie en infrastructuurbedrijven. Ook de Rijksoverheid is op al deze drie niveaus betrokken. De partijen geven aan dat ze geïnteresseerd zijn aan de transitieopgave en dat ze daarin samenwerken.

Overzicht eindbeelden, technologische richtingen en projecten in industriecluster Rotterdam



Bron: PBL

Figuur 7 Overzicht eindbeelden, technologische richtingen en projectvoorbeelden in industriecluster Rotterdam-Moerdijk⁶. De relaties tussen eindbeelden, technologische richtingen en projecten zijn vereenvoudigd weergegeven en er kunnen ook nog andere relaties bestaan.

Nog geen kwantitatieve keuzes

Deze betrokkenheid bij de transitieopgave betekent niet dat er al scherpe, kwantitatieve keuzes zijn gemaakt, of dat er overeenstemming is over een eindbeeld of het relatieve belang van technologische oplossingsrichtingen. Er wordt aangegeven dat er geen oplossingsrichtingen moeten worden uitgesloten, dus dat met alle oplossingsrichtingen een start moet worden gemaakt. Voor een aantal concrete bedrijfsoverstijgende projecten in Rotterdam zijn inmiddels stappen gezet. De ontwikkeling en besluitvorming over de meeste projecten verloopt langzaam, maar sommige zijn desalniettemin al vergevorderd. De lange doorlooptijd bij het besluitvormingsproces is mede een gevolg van het feit dat er veel verschillende partijen betrokken zijn en er gaandeweg steeds verdergaande afspraken en verplichtingen moeten worden aangegaan.

Complexe afwegingen

Voor bedrijven liggen er belangrijke keuzes voor, die sterk kunnen ingrijpen in de energievoorziening en het productieproces. Technologiekeuzes op Rijksniveau kunnen ontwikkelingen in Rotterdam beïnvloeden, zoals de voorwaarden binnen de SDE++ voor technieken als CCS, groene waterstof en recycling. Investerings in industriële processen, energievoorziening en nieuwe infrastructuur hebben specifieke beslismomenten en kennen een lange voorbereidingstijd. Deze keuzes beïnvloeden de besluiten die daarna worden genomen, bijvoorbeeld omdat ze aanpassingen veroorzaken in clusterverband, of omdat ze door kostendaling een vervolgpriject makkelijker maken. Mogelijk ontstaan er daardoor domino-effecten of pad-afhankelijkheden. In dit hoofdstuk wordt geïnventariseerd welke keuzes dat zijn, en hoe die keuzes het beste ondersteund kunnen worden.

⁶ De letters tussen haakjes verwijzen naar rapporten van het Havenbedrijf (H) (Havenbedrijf Rotterdam, 2019a), Wuppertal Institut (W) (Wuppertal Institut, 2016), VNPI (door DNVGL, P) (DNVGL, 2018), VNCI (door Ecofys/Berenschot, C) (Ecofys; Berenschot, 2018) en McKinsey (M) (McKinsey, 2017).

4.2 Waar moet het uiteindelijk naar toe?

In deze paragraaf bespreken we een aantal eindbeelden en ambities voor Rotterdam die de afgelopen jaren zijn verschenen. Het gaat daarbij niet noodzakelijk om een concrete kwantitatieve doelstelling voor 2050, maar meer om een breed gedeeld perspectief. In het nationale klimaatakkoord wordt dit als volgt aan aangegeven:

"In 2050 zien wij een Nederland voor ons met een bloeiende, circulaire en mondiaal toonaangevende industrie, waar de uitstoot van broeikasgassen nagenoeg nul is."

De kabinetsvisie op de verduurzaming van de basisindustrie van medio 2020 (EZK, 2020) sluit aan op dit beeld. Deze visie ziet voor Nederland de ambitie en de kans om de Europese vestigingsplaats te zijn voor duurzame basisindustrie. Rotterdam speelt daarin een prominente rol. Hoe die circulaire en klimaatneutrale industrie en energievoorziening in Rotterdam er uit ziet wordt in deze paragraaf nader onderzocht, aan de hand van de beschikbare studies. Doelen en ambities in de Rotterdamse Havenvisie 2019

4.2.1 Doelen en ambities in de Rotterdamse Havenvisie 2019

In de Rotterdamse Havenvisie 2019 is het Nederlandse Klimaatakkoord het bepalende kader voor CO₂-reductie in het industriecluster. De visie schetst een haven- en industriecluster dat richting 2050 circulair is en een CO₂-neutrale raffinage en chemie heeft (Havenbedrijf Rotterdam, 2019a). Het Rotterdams klimaatakkoord heeft deze ambities uit de Havenvisie overgenomen (Energieswitch, 2019). De rol van chemie en raffinage is in de Havenvisie nader ingevuld:

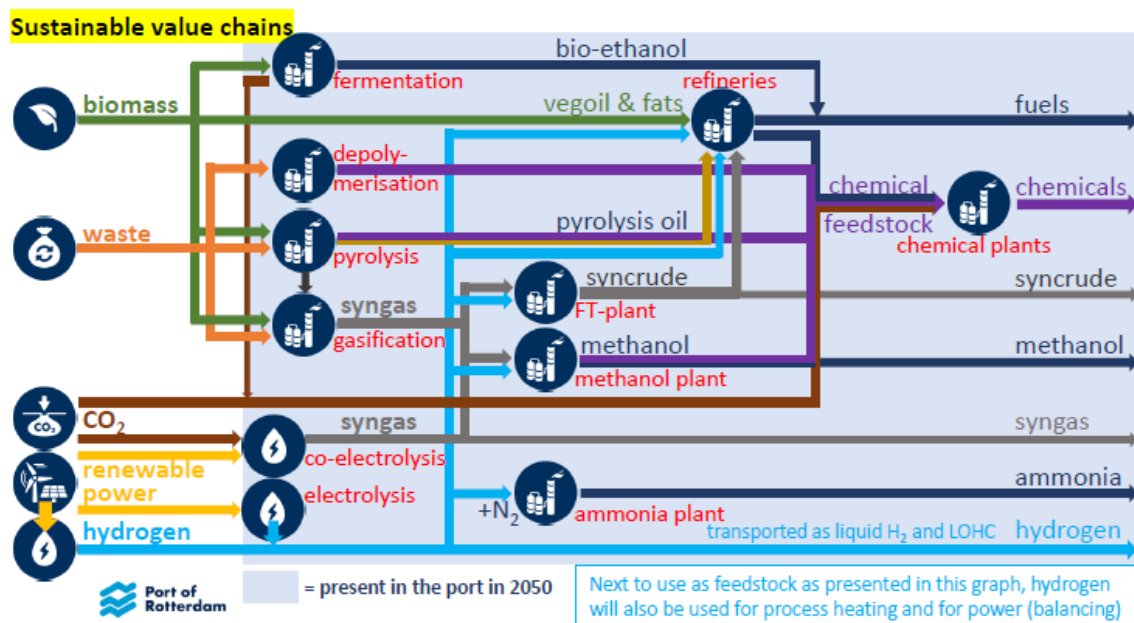
"In 2050 floreert de chemische sector, met onder andere waterstof, afval en biomassa als grondstof. De sector heeft een leidende positie in de levering van producten aan groeiende markten voor duurzame brandstoffen en grondstoffen. De teruglopende vraag naar brandstoffen heeft in Europa geleid tot vergaande integratie van chemie en raffinage. De raffinage-sector is weliswaar kleiner van omvang, maar gegroeid in zijn rol als producent van chemische grondstoffen en brandstoffen voor de export. Verder vindt in 2050 in het haven- en industriecluster op grote schaal conversie plaats van synthetische grond- en brandstoffen op basis van hernieuwbare energie. Een belangrijke ontwikkeling voor de lucht- en scheepvaart. Ook bij een CO₂-reductie van 95% (het nationale klimaatdoel voor 2050) blijven er activiteiten die niet in het circulaire systeem passen. Daarvoor heeft het haven- en industriecluster een beperkte broeikasgasgebruiksruimte beschikbaar. Het saldo is op termijn CO₂-neutraal."

Door de sterke internationale verwevenheid van materiaal- en energiestromen in het Rotterdamse cluster is klimaatneutraliteit of circulariteit binnen een geografische afbakening niet eenvoudig te definiëren. De ambitie lijkt daarom eerder dat Rotterdam een schakel is in een internationaal klimaatneutraal en circulair energie- en materiaalstroomstelsel. Bij een toekomstvisie voor Rotterdam horen dus veronderstellingen over de herkomst en bestemming van de in- en uitgaande energie- en materiaalstromen in het gebied. In zekere mate kan vanuit Rotterdam invloed worden uitgeoefend op de klimaatneutraliteit en circulariteit van deze stromen. In duurzame eindbeelden zou Rotterdam een wezenlijke rol moeten hebben in een internationaal systeem van klimaatneutraliteit, gesloten materiaalstromen, zonder nadelige effecten op natuur en milieu, bijvoorbeeld:

- Geen CO₂-uitstoot in industriële processen ter plaatse, door vermijden van fossiel energiegebruik of door vastlegging van fossiele koolstof (scope 1).

- Bij toepassing van biomassa zou dit biomassa moeten zijn die afkomstig is uit een mondiaal beheersbare duurzame cyclus die niet met natuurwaarden en voedselvoorziening conflicteert. Dat kan voor Rotterdam een uitgangspunt of randvoorwaarde zijn bij import en overslag.
- Koolstofvastlegging kan waarschijnlijk niet eindeloos op grote schaal in de vorm van CO₂, dus er moet voor CCS een soort duurzaam eindbeeld zijn. Dat beeld is ook nodig voor vastlegging in de natuur en in producten.
 - Gebruik van fossiele energiedragers kan alleen wanneer ten minste evenveel koolstof weer duurzaam wordt vastgelegd.
 - Van koolstof in geproduceerde transportbrandstoffen wordt de circulaire herkomst in beeld gebracht.
 - Van overige producten kan worden aangegeven hoe de koolstofkringloop wordt gesloten of gecascadeerd.
- Een hoge mate van efficiency en optimalisatie van energie- en materiaalstromen.

Dat betekent niet dat dit allemaal binnen het cluster Rotterdam moet plaatsvinden, maar dat het cluster Rotterdam een onderdeel is van een dergelijk gesloten systeem. Hoe een eindbeeld er kwalitatief uit kan zien heeft het Havenbedrijf aangegeven in Figuur 8.



Figuur 8 Toekomstbeeld van een duurzaam industriecoluster in Rotterdam (Havenbedrijf Rotterdam, 2020a)

Biomassa en koolstofhoudend afval vervangen in dit toekomstbeeld ruwe olie als grondstof. De productie van biobrandstoffen vindt ook nu al plaats. De grootschalige productie van chemische basisproducten moet worden opgeschaald via depolymerisatie, pyrolyse en vergasingsprocessen. Ook CO₂ wordt als grondstof ingezet, maar de herkomst is niet specifiek aangegeven. De benodigde waterstof wordt via elektrolyse verkregen met hernieuwbaar opgewekte elektriciteit. Ook methanol- en ammoniakproductie kunnen daarmee een plaats verwerven in Rotterdam. Niet alle afgebeelde activiteiten hoeven in de visie van het Havenbedrijf uiteindelijk in Rotterdam plaats te vinden.

4.2.2 Wuppertal Institut

In 2016 is een uitgebreide studie voor het Havenbedrijf Rotterdam uitgevoerd door het Wuppertal-Institut (Wuppertal Institut, 2016). De productie van transportbrandstoffen uit ruwe olie bij raffinaderijen is in de eindbeelden van deze studie vrijwel verdwenen.

De studie heeft twee vergaande scenario's. Biomassa en afval vormen de belangrijkste basis voor deze grondstoffen in de scenario's voor 2050. De productie van grondstoffen voor de chemische industrie vindt bij scenario "BIO" plaats met een combinatie van ruwe olie en biomassa. Vergassing van afval en methanolsynthese leveren in het scenario "CYC" de grondstoffen voor olefinenproductie. De nog geproduceerde transportbrandstoffen zijn voor zwaar wegtransport, scheepvaart en vliegverkeer. Fisher-Tropsch synthese levert via hydrocracking de transportbrandstoffen in beide beelden. In het scenario "CYC" wordt Fisher-Tropsch-wax geïmporteerd.

Voor zover ruwe-olie-inputs nodig zijn in een afgeschaalde conventionele route wordt ook een naftakraker met CCS toegepast. De studie geeft aan dat in Rotterdam 7 Mton (108 PJ) grondstof aan houtachtige biomassa nodig is. Ter vergelijking: de huidige grondstofbehoefte van de kraker van Shell in Moerdijk in de vorm van nafta is nu ongeveer 130 PJ.

4.2.3 VNCI Roadmap

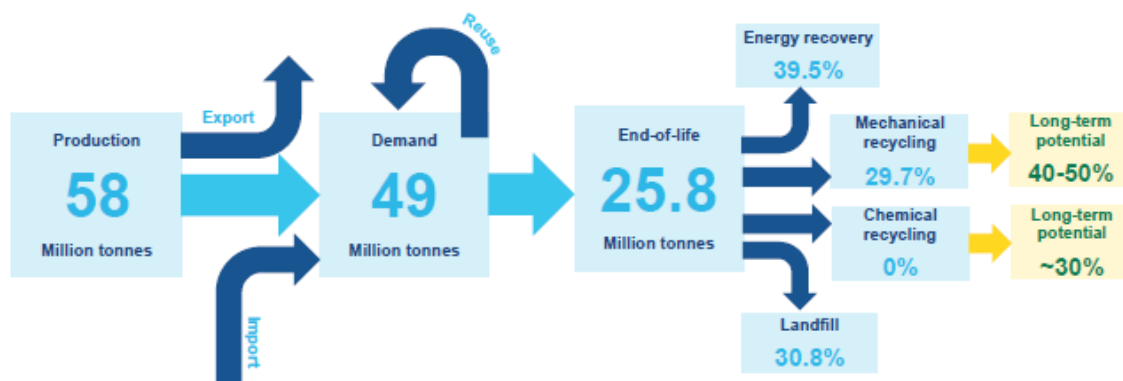
De studie Chemistry for Climate, in opdracht van de VNCI, schetst drie verschillende beelden voor de Nederlandse chemie in 2050 (Ecofys; Berenschot, 2018). Die beelden komen voort uit de technologische richtingen "biobased and circular", "electrification" en "CCS". Er worden ook weer combinaties aangegeven. In de routekaart wordt expliciet de potentiële emissie van het non-energetisch gebruik betrokken; dit is de "end-of-life" emissie na de gebruiksfase van chemische producten. Daartoe wordt de benodigde koolstof als grondstof gekwantificeerd.

In de "biobased and circular" richting van de studie moet het grootste deel van de grondstof komen uit biomassa, circa 700 PJ, waarvan de herkomst niet verder is aangegeven. Tussensproducten zijn onder andere methanol, bioethanol en BTX, die bijvoorbeeld in Rotterdam gemaakt worden. In de "electrification" richting wordt circa 1000 PJ aan hernieuwbare elektriciteit gebruikt, vooral om ruim 600 PJ waterstof te maken. Hier wordt niet duidelijk aangegeven waar koolstof vandaan komt, maar als voorbeeld wordt CO₂ genoemd. Ook CO van de staalproductie wordt genoemd als bron. In de richting "CCS" wordt fossiel grondstof- en energiegebruik ook in 2050 gehandhaafd.

In de drie geschetste technologische richtingen voor 2050 is de materiaalketen nog niet gesloten: recycling van plastic kan nog niet voor 100% voorzien in de behoefte aan plastic of grondstof voor plastic. Rotterdam kan chemische recycling van plastic afvalstromen oppakken, maar er zal in 2050 volgens deze roadmap nog aanvullende koolstofinput nodig zijn.

In de VNCI Roadmap wordt plasticrecycling in EU-verband beschouwd. De Europese plasticproductie is in 2019 ruim 60 miljoen ton. Uitgaande van aanhoudende productiegroei kan op termijn de hoeveelheid beschikbaar plasticafval gerecycled worden als grondstof voor ongeveer de helft van de plasticproductie (zie Figuur 9). Voor het gedeeltelijk sluiten van de materiaalketen worden hergebruik en mechanische recycling als belangrijke opties aangegeven. De mechanische recycling kan volgens VNCI 40-50% daarvan bereiken (nu 30%). De resterende routes chemische recycling, pyrolyse en vergassing kunnen toegepast worden op 30% van het afval. In de conversie naar grondstof, en vervolgens weer naar plastic, treden nog verliezen op. Dat betekent dat ongeveer 10%⁷ van de huidige omvang van plasticproductie via chemische recycling, pyrolyse en vergassing tot stand kan komen.

⁷ 30% van 25,8 Mton=7,8 Mton, beschikbaar voor chemische recycling. Afhankelijk van de gekozen chemische technologie levert dit weer 5-7 Mton plastic op, ongeveer 10% van de productie in Europa (58 Mton in 2015).



Figuur 9 Kwantitatieve massastromen van plastic in Europa, gebaseerd op cijfers van Plastics Europe uit 2016 (Ecofys; Berenschot, 2018)

In een circulair plasticsysteem zal het aandeel plastic dat via de chemische route wordt geproduceerd lager liggen dan nu, omdat een deel van de plasticproductie wordt ingevuld via mechanische recycling en hergebruik. Er is in de VNCI Roadmap geen raming gemaakt van de mate waarin de chemische plasticproductie gaat afnemen indien er meer in de vraag naar plastic wordt voldaan via hergebruik en mechanische recycling. Niettemin is voor die minder omvangrijke chemische route de beschikbare hoeveelheid afvalplastic ook op lange termijn ontoereikend.

4.2.4 Overige studies

De roadmap van de VNPI (DNVGL, 2018), de brancheorganisatie van raffinaderijen, richt zich op de vermindering van de emissies van het raffinageproces zelf. Er wordt geen aandacht besteed aan alternatieven voor ruwe olie als basismateriaal; zo is er geen rol voor biomassa voorzien. De emissiereductie vindt plaats door combinaties van CCS, elektrificatie en waterstof. Voor de kwantificering van reductiemogelijkheden is het productievolume van de aardolieraffinage constant gehouden. In de roadmap wordt evenwel aangegeven dat dit uitgangspunt weinig waarschijnlijk is.

McKinsey gaat in de transitiestudie (McKinsey, 2017) niet verder dan kwantificering van 80% reductie in 2050. Ook hier is de focus op decarbonisatie van het energiegebruik. De studie ziet een beperkte rol voor biomassa, afval en CO₂ als grondstof, vooral in de chemie. Geramd wordt dat naftakrakers 30% productie kunnen reduceren door recycling van plastics.

4.2.5 Eindbeelden vanuit de interviews

De geïnterviewde experts hebben geen concrete, gekwantificeerde eindbeelden. Er wordt aangegeven dat een cluster permanent in ontwikkeling blijft. Voor de energievoorziening wordt vooral waterstof genoemd, waarbij Rotterdam ook als invoerhaven wordt gezien. Naast waterstof wordt biomassa genoemd, met name biomassavergassing. Restwarmtebenutting blijft een belangrijk element.

De focus van de experts ligt bij het aanpassen van de energievoorziening en de voorziening van koolstofhoudende grondstoffen ten behoeve van de productieprocessen, niet op de product- en handelsketens en de consumptie daarna. In het algemeen kunnen de experts over grondstoffen ook geen duidelijk eindbeeld aangeven, bijvoorbeeld omdat ze beperkingen zien voor opschaling van biomassa. Uiteindelijk moeten oplossingen gezocht worden in gebruik van afgevangen CO₂ (CCU), klimaatneutrale synthetische brandstoffen (synfuels) en eventueel winning van CO₂ uit de lucht (direct air capture, DAC). Op langere termijn, in 2050, wordt CCS nog belangrijk geacht. Ook biomassaverwerking in combinatie met CCS (BECCS) wordt genoemd als relevant element van een eindbeeld.

Het eindbeeld kan volgens de experts ook niet los gezien worden van de internationale situatie. Rotterdam kan een rol krijgen in de import van waterstof, in de import en bewerking van biomassa en afvalstromen en als knooppunt voor afgevangen CO₂. Ook voor nieuwe bunkerbrandstoffen wordt een rol voor Rotterdam gezien, zoals waterstof, of vloeibaar aardgas (LNG) met CCS op schepen. Voor de luchtvaart wordt aan synfuels gedacht, maar die worden ook op termijn duur en inefficiënt gevonden.

4.2.6 Bevindingen over eindbeelden

De ambities uit de Havenvisie voor Rotterdam als cluster van CO₂-neutraal en circulair vragen nadere uitleg. Hoewel het een samenhangend cluster betreft, zijn de in- en uitgaande energie- en materiaalstromen omvangrijk. Het is dus belangrijk om niet alleen het grondgebied van Rotterdam te toetsen aan de ambities, maar ook de eigenschappen van de in- en uitgaande stromen.

Door de meeste studies en experts wordt aangegeven dat de CO₂-uitstoot in Rotterdamse gebied aanzienlijk, zo niet volledig, kan worden gereduceerd. Van de afvoer en opslag van Rotterdamse CO₂, en de aanvoer van elektriciteit kan worden vastgesteld hoeveel dit bijdraagt aan klimaatneutraliteit. De geproduceerde en gebruikte elektriciteit kan worden gelabeld, evenals de in het gebied geïmporteerde elektriciteitsvolumes. Duidelijk moet nog worden of de ambitie voor CO₂-neutraliteit ook geldt voor deze geïmporteerde volumes. Voor Rotterdam als waterstofhub kan een zelfde labeling en toetsing worden opgezet als voor elektriciteit.

Voor de aanvoer van biomassa en koolstofhoudend afval, en voor de toepassing van de Rotterdamse koolstofhoudende producten is het moeilijker om de CO₂-neutraliteit of circulariteit vast te stellen. Voor de duurzaamheid van biomassa biedt het nationale klimaatakkoord en de Europese richtlijn voor hernieuwbare energie houvast. Dit is van belang als op grote schaal biomassa moet worden geïmporteerd voor nieuwe processen. Hoe diverse biomassa-stromen zo hoogwaardig mogelijk kunnen worden ingezet vraagt echter een complex afwegingskader. Vooralsnog wordt de inzet van biomassa vooral bepaald door markten, en is de invloed van Rotterdamse spelers beperkt. Dat geldt nog meer voor koolstofhoudende reststromen, zoals plasticafval. Voor biomassa en afvalstromen maakt het veel uit hoe hoogwaardig het wordt toegepast. Voor plastic geldt dat vermijden, hergebruik en mechanische recycling de voorkeur hebben boven chemische recycling (Europese Commissie, 2018; World Economic Forum; Ellen MacArthur Foundation; McKinsey & Company, 2016). Bij chemische recycling moet ook rekening gehouden worden met energiegebruik, emissies en materiaalverlies. Derhalve is in een circulair systeem niet alleen de beschikbaarheid van grondstoffen maar ook de omvang van de chemische verwerking veel lager. Als de grote productiecapaciteit in Rotterdam wordt gehandhaafd in een circulair materiaalsysteem, betekent dat impliciet dat er op veel andere plaatsen productie moet sluiten. Het lijkt consistent om in een circulair Rotterdams toekomstbeeld dan ook uit te gaan van een mogelijk veel lagere primaire chemische productiecapaciteit. Dit heeft in het cluster ook belangrijke implicaties voor de omvang van de energievoorziening en chemische industrie die direct aangesloten is.

De spelers in het cluster Rotterdam hebben maar beperkt invloed op de mate waarin de producten verder in de keten al dan niet klimaatneutraal of circulair worden toegepast. De diversiteit van producten en afzetmarkten lijkt daarvoor veel te groot. Om de ambitie van "richting 2050 circulair" helder te maken zou Rotterdam ook een visie kunnen ontwikkelen over de rol in de verwerking van producten die in het clustergebied en daarbuiten vrijkomen na gebruik. Dit kan aansluiten op veel activiteiten die nu al plaatsvinden, van gespecialiseerde verwerking van chemisch afval tot bijvoorbeeld mechanische recycling van verpakkingen. Er kunnen in Rotterdam mogelijk ook verbeteringen worden ontwikkeld voor de recycling van de geproduceerde basismaterialen zoals polymeren. Die

recyclingmogelijkheden worden beïnvloed door de specifieke samenstelling van plastic in primaire vorm met uiteenlopende toeslagstoffen zoals pigmenten en weekmakers.

Clusteraspecten

De eindbeelden laten een duidelijke samenhang zien tussen bestaande en vernieuwde processen in het cluster Rotterdam, uitgaande van de huidige activiteiten en producten. Ook worden nieuwe aanvullingen op het cluster geschetst. De studies geven aan dat nieuwe aanvoerstromen gaan ontstaan en niet alles in Rotterdam hoeft plaats te vinden.

4.3 Welke oplossingsrichtingen worden nu gekozen?

Ook al is er nog geen duidelijke specificatie van een eindbeeld, er worden veel technische oplossingsrichtingen overwogen en ontwikkeld in Rotterdam. In deze paragraaf worden de visies op deze oplossingsrichtingen behandeld. Door de experts en studies genoemde oplossingsrichtingen zijn:

- Energie-efficiencyverbetering
- Restwarmtegebruik
- Elektrificatie van de warmtevraag
- Elektrochemische processen
- Hernieuwbare warmte uit aardwarmte, afval of biomassa
- Koolstof afvang en opslag (CCS)
- Combinatie van biogene CO₂ en CCS (BECCS)
- Groene waterstof voor warmte
- Blauwe waterstof (CCS) voor warmte
- Groene waterstof als grondstof
- Blauwe waterstof (CCS) als grondstof
- Biomassa als grondstof
- Afval als grondstof
- Afgevangen CO₂ als grondstof (CCU)

Onder "grondstof" wordt tevens het gebruik voor de productie van transportbrandstoffen verstaan. Vanuit de studies en de respondenten wordt veelvuldig aangegeven dat alle richtingen verkend moeten worden. De opgave is groot en veel technologie moet nog een innovatietraject volgen dat kan leiden tot kostendaling. Initiatieven waarbij een technologie wordt gekozen kunnen in een cluster als Rotterdam wel duidelijke effecten hebben op andere technologie. Om verschillende redenen zijn technologiekeuzes niet vrijblijvend.

- Door toepassing kan een technologie verder verbeteren en goedkoper worden, waardoor de concurrentiepositie verbetert;
- Als collectieve voorzieningen, zoals infrastructuur en kennis worden gerealiseerd, komt replicatie makkelijker tot stand;
- Stimuleringsbeleid met vooral financiële prikkels is impliciet gericht op winnende technologie, waardoor deze dynamiek wordt versterkt;
- Marktpartijen zijn geneigd tot kopieergedrag om risico's te mijden;
- Technologiekeuzes in de zware industrie zijn moeilijk omkeerbaar door de schaalgrootte (niet-modulair) en de lange ontwikkelings- en optimalisatietrajecten.

De technologische keuze voor de transitieopgave is dus ongekend spannend. Voor deze besluitvorming treden bedrijven uitgebreid in overleg met overheid, infrastructuurbeheerders, andere marktpartijen en kennisinstellingen. Dat is zichtbaar in veel initiatieven alsook in de genoemde routekaarten en clusterstudies. Naast de studies specifiek voor het havengebied, studies voor de zware industrie in Nederland of Europa en sectorstudies van de chemie en raffinaderijen zijn er ook technische studies gericht op infrastructuur, waterstof en CCS.

4.3.1 Oplossingsrichtingen in de verkenningen en sectorale roadmaps

De geselecteerde diepgaande studies schetsen de mogelijkheden en niet de waarschijnlijkheden, en hebben geen voorspellend karakter. De focus kan verschillend zijn: sectorale roadmaps brengen de toekomstmogelijkheden en rol van een sector in beeld, clusterstudies vooral de toekomst van de locatie, sommige studies hebben een nationale scope. Alle behandelde studies kijken ook verder dan 2030. Kosten komen in enkele studies expliciet aan bod, beleidsinstrumenten komen niet expliciet aan de orde.

In Figuur 10 is gepoogd de technologische indeling van de studies schematisch weer te geven. In de eerste kolom staan alle oplossingsrichtingen.. Voor elke studie wordt in de volgende kolommen aangegeven welke technologie wordt behandeld. Er zijn in de studies verschillende combinaties van technologie gekozen, in de vorm van samenhangende fases of scenario's. Deze combinaties zijn gemarkeerd door kleuren toe te passen in de kolommen.

	Wuppertal-studie 2016	VNPI road-map	VNCI road-map	McKinsey	Havenvisie 2019
Energie-efficiency, restwarmtegebruik	meegerekend	10% reductie-potentieel	0,5%/jaar	meegerekend	genoemd in stap 1: nu
Groene waterstof	beide scenario's	Waterstof-	electrification pathway		zit vooral in stap 2: 2025
Blauwe waterstof		scenario			stap 2
Elektro-boilers & fornuizen	Circulair scenario	elektrificatie scenario	electrification pathway	belangrijkste optie	zit vooral in stap 2: 2025
Elektrochemische processen					
Aardwarmte			beperkt		stap 2: 2025
Biomassa voor energie	Bio- en CCS scenario		biobased en circular pathway		
Biomassa als grondstof	vergassing, FT		biobased en circular pathway	beperkt	zit vooral in stap 3: na 2030
Biomassa en CCS					
Afval als grondstof	Circulair scenario: methanol		biobased en circular pathway	beperkt	zit vooral in stap 3: na 2030
Afval en CCS					stap 1: nu
Procesemissies, fornuizen/Boilers en CCS	Bio en CCS scenario	CCS scenario	CCS pathway	op een na belangrijkste optie	stap 1: nu
CCU	Vooraf in circulair scenario		vooral i.c.m. elektrificatie	genoemd	genoemd

Figuur 10 Overzicht van technologische richtingen in de verschillende studies. De kleuren geven de verschillende scenario's per studie weer.

Keuzes en combinaties

Hoewel de studies niet eenvoudig te vergelijken zijn, komen bepaalde categorieën vaker terug: CCS, elektrificatie en waterstof, biomassa en recycling. In de Wuppertal-, VNCI- en VNPI-studies zijn de categorieën alternatieven voor elkaar. Grijs gekleurde technieken komen daarbij in alle varianten terug. Bij McKinsey en de Havenvisie 2019 worden de categorieën gecombineerd, en is meer sprake van fasering.

Wat opvalt is dat de combinatiekeuze wezenlijk verschilt, en de verhaallijnen dus kennelijk anders zijn ingestoken. Soms wordt waterstof en elektrificatie gecombineerd, soms biomassa en recycling, soms biomassa en CCS.

Keteneffecten

Alle studies betrekken keteneffecten van de energievoorziening in de analyse (scope 2). Hoe elektriciteit of waterstof wordt geproduceerd wordt betrokken in reductieberekeningen. De VNCI houdt bijvoorbeeld ook rekening met emissies aan het einde van de levensduur van producten (scope 3). Ook de herkomst van koolstofhoudende grondstoffen wordt deels meegenomen in de analyses.

Onzekerheden

De beschikbaarheid en acceptatie van biomassa en van CCS-mogelijkheden wordt door Wuppertal Instituut als de basisonzekerheid gezien. In de Havenvisie Rotterdam staat de onzekerheid over mondiale ontwikkelingen voorop, zowel de groei van de wereldhandel als de voortvarendheid van de wereldwijde energietransitie. De studies besteden ook aandacht aan beleidsonzekerheden. In de VNPI-studie worden aan het beleid voorwaarden gesteld om de resultaten te kunnen bereiken. Wuppertal en McKinsey maken onderscheid tussen vergaand en minder vergaand beleid. VNCI en VNPI schenken aandacht aan de mate waarin beleid meer visionair is, of meer gericht op doelbereik onder kostenoptimalisatie.

4.3.2 Technologie- en infrastructuurverkenningen

Infrastructuur is een terugkomend thema in de verkenningen en er zijn ook studies specifiek op infrastructuur gericht. Ingevolge het klimaatakkoord is een Taskforce Infrastructuur Klimatakkoord Industrie (TIKI) ingesteld. Een studie van DNVGL heeft als eerste stap de knelpunten geïnventariseerd (DNVGL, 2019). Het Havenbedrijf heeft de huidige en de toekomstige, mogelijke energie infrastructuur in beeld gebracht met kaarten (Havenbedrijf Rotterdam, 2019). Inmiddels is voor de landelijke coördinatie een Programma Infrastructuur Duurzame Industrie (PIDI) opgezet.

Daarnaast zijn er diverse studies die een bepaalde technologische richting als uitgangspunt hebben. Deze studies beschouwen we als verkenning en uitwerking van technologische varianten uit de bredere studies. In deze studies worden meer concrete projecten benoemd dan in de bredere studies, hierna behandeld in 4.4. Een belangrijk Rotterdams initiatief is bijvoorbeeld H-Vision, dat de waterstofvoorziening in het havengebied wil opschalen (H-vision, 2019). Een eerste stap betreft de productie van blauwe waterstof uit raffinaderijgas, bestemd als brandstof. Eind 2026 zou daarmee ten minste 0,9 Mton CO₂ kunnen worden gereduceerd (zie ook 4.4.2). Voor het nationale beleid is recent ook een routekaart waterstof uitgebracht (TKI Nieuw Gas, 2018). Een routekaart elektrificatie wordt nog uitgebracht in 2021. Verder is voor transport en opslag van CO₂ het Porthos-project al in de uitwerkingsfase gekomen (Haskoning DHV, 2019), en is in 2020 SDE++-subsidie aangevraagd. Als eerste stap wordt beoogd vanaf 2024 jaarlijks 2,5 Mton CO₂ op te slaan.

CCS, waterstof, elektrificatie en restwarmtegebruik zijn de terugkerende thema's in de studies als het gaat om energie-infrastructuur (Port of Rotterdam, 2019). De grondstofvoorziening in Rotterdam heeft al een uitgebreide infrastructuur. Ruwe olie, nafta, etheen, propeen en waterstof hebben een leidingennet dat diverse bedrijven verbindt. Daarnaast zijn er nog veel verbindingen voor specifieke producten en bestemmingen, zoals onder andere raffinaderijgas, syngas, chloor en zoutzuur. De logistiek voor toekomstige chemicaliën, biomassa- en afvalstromen is niet expliciet uitgewerkt in de infrastructuurverkenningen. Voor grondstoftoepassing wordt ook de concentratie en zuiverheid van waterstof, syngas en CO₂ belangrijk. Deze aspecten zijn nog niet verder uitgewerkt in de verkenningen.

4.3.3 Dilemma's over technologische richtingen uit de interviews

Bij de interviews met experts is meer inzicht verkregen in de besluitvormingsprocessen, knelpunten en dilemma's. Uit de interviews wordt afgeleid:

- Over welke technologische richtingen is op clusterniveau overeenstemming, en wat zijn de clustervoordelen?
- Voor welke technologische richtingen zijn er tegengestelde belangen of knelpunten? Hoe wordt dat op clusterniveau benaderd?
- Leiden de gekozen technologische richtingen tot de eindbeelden?

CCS en/of CCU

Met het klimaatakkoord in 2019 is er uitzicht gekomen op exploitatiesubsidie van het Rijk voor 7,2 Mton CCS per jaar bij emissies van fossiele CO₂ in de industrie. Het Havenbedrijf, de Gasunie en EBN hebben het initiatief genomen om daarvoor in Rotterdam infrastructuur aan te leggen die aansluit op een opslaglocatie onder de Noordzee (Porthosproject, zie 4.4). Deze keuze is een belangrijke impuls om projecten te ontwikkelen die gebruik maken van afvang van CO₂. Uit de interviews wordt duidelijk dat CCS de belangrijkste optie in Rotterdam is en ook tot 2050 een belangrijke rol blijft spelen. In het concept clusterplan van Rotterdam-Moerdijk (Krekt & Wesselink, 2020) ziet het CCS-initiatief als het begin van een CCUS netwerk dat start in de haven, maar uitgroeit naar Nederlandse en Europese schaal. Voor de langere termijn wordt CO₂-afvang als circulaire optie gezien. CCU heeft vooral de interesse van de chemische industrie. Eenmaal opgeslagen CO₂ wordt op basis van de interviews echter niet meer gezien als grondstof. Er is nog geen duidelijkheid of, en zo ja, hoe en in welke mate op langere termijn van CCS naar CCU wordt overgegaan.

Een speciaal geval van CCU is de CO₂-levering aan de glastuinbouw voor groeibevordering. Hier is een infrastructuur voor gerealiseerd die mogelijk uitgebreid wordt, de OCAP. De tuinbouwsector heeft een voorkeur voor biogene CO₂, van bedrijven die biobrandstoffen produceren of eventueel van AVI's. Omdat per saldo niet extra CO₂ wordt vastgelegd, wordt de afgevangen CO₂ geëmitteerd en blijft deze toegerekend aan de bron. Het is dus geen oplossing voor CO₂ van fossiele herkomst uit de industrie, maar faciliteert besparing op aardgas in de tuinbouwsector.

Elektrificatie

Hernieuwbare elektriciteit wordt als de belangrijkste toekomstige energiebron wordt gezien. Vervanging van fossiele brandstoffen door elektriciteit als energiebron heeft daardoor een nieuwe impuls gekregen. Elektrificatie van de industriële processen in het cluster Rotterdam biedt mogelijkheden, niet alleen voor uitstootreductie, maar ook voor het directer en slimmer aansturen van de processen door middel van ICT. Volgens de Havenvisie is er een aanzienlijk potentieel voor directe elektrificatie (ordegrootte 1 GW⁸ additioneel tot 2030), maar de nu beschikbare infrastructuur zou daarvoor verre van toereikend zijn (~100 MW).

Uit de interviews blijkt dat elektrificatie na CCS als de belangrijkste reductieoptie wordt gezien, maar nog een aantal belemmeringen kent. Dat betreft de beperkte mate waarin de meerkosten kunnen worden gedekt, en tijdige beschikbaarheid van elektriciteitsinfrastructuur. Voorts wordt de SDE++ voor elektrificatie-opties niet toereikend geacht, mede door de limiet op subsidiabele vollasturen. Het belangrijkste lijkt echter dat de lage aardgasprijzen het commercieel nog niet interessant maken om te elektrificeren. Ook vormen de kosten voor interne netverzwaring bij de bedrijven een belemmering. Deze belemmeringen komen ook terug in een recent TNO-onderzoek (Hers, van der Welle, & van Dril, 2020). Vanwege de nu ontoereikende infrastructuur wordt in het TIKI-rapport ook aandacht gevraagd voor "moleculen in plaats van elektronen". De TIKI wijst daarbij op het veel efficiënter transport van energiedragers via buisleidingen. Daar tegenover staat het energieverlies bij omzetting van

⁸ Volgens "In drie stappen naar een duurzaam industriecluster – Rotterdam-Moerdijk in 2050".

hernieuwbare elektriciteit in gasvormige energiedragers. Doordat Rotterdam vooral in het oostelijke deel beperkingen in de elektriciteitsinfrastructuur heeft, zijn voor elektrificatie ook hier de clustervoordelen minder duidelijk dan bij CCS. Het economisch realiseerbare potentieel voor emissiereductie via directe elektrificatie van de warmtevoorziening (Power-to-heat) in het industriecluster Rotterdam lijkt daarom aanzienlijk lager dan dat van CCS.

Waterstof

Door toepassing van waterstof als brandstof wordt geen CO₂ uitgestoten. Ten opzichte van elektriciteit voor warmtetoepassingen heeft waterstof drie voordelen. Het vergt relatief weinig aanpassingen van bestaande installaties zelf (vooral aanpassingen aan branders), het is makkelijker te transporteren dan elektriciteit en het kan grootschalig worden opgeslagen en daarmee ook als buffer dienen voor intermitterende hernieuwbare elektriciteitsopwekking. Uit de interviews wordt duidelijk dat aan waterstof op termijn een grote rol wordt toegekend. Rotterdam ziet ook economische kansen voor een rol als internationaal handelsknooppunt voor waterstof, er is al een waterstofnetwerk. Blauwe waterstof, op basis van aardgas of raffinaderijgas, lijkt snel op een aanzienlijke schaal te realiseren, omdat de afvoer van de CO₂ in Rotterdam mogelijk is. Op termijn wordt dan productie van groene waterstof uit elektrolyse ontwikkeld. Bij de experts is er twijfel of op termijn voldoende groene waterstof kan worden geproduceerd om voor ondervuring toe te passen, en of dat wel betaalbaar wordt. Verder verschillen de opvattingen over de rol van blauwe waterstof als wegbereider voor groene waterstof. Het is onduidelijk hoe de in de eindbeelden breed gedragen voorkeur voor groene waterstof ook via de markt kan doordringen. Niettemin is duidelijk dat Rotterdam bij uitstek clustervoordelen heeft voor waterstof.

Circulaire grondstoffen, recycling

Circulair gebruik van grondstoffen wordt door de experts genoemd als mogelijkheid die kan bijdragen aan klimaatneutraliteit. Bij circulariteit als technologische richting wordt naast recycling van o.a. kunststoffen ook hergebruik van CO of CO₂ genoemd. Over de omvang en betekenis van circulaire technologische opties worden geen stellige uitspraken gedaan. Dit kan samenhangen met de focus op meer directe emissiereductie (scope 1 en 2), ingegeven door de doelstellingen voor 2030.

Biomassa

Voor biomassa als energiedrager of als grondstof voor de raffinagesector wordt in Rotterdam een beperkte rol gezien. Nuanceringen in de discussie over duurzaamheid van biomassa worden belangrijk gevonden door de experts, er is immers een grote diversiteit aan biomassa. Biomassa kan vooral als grondstof gaan fungeren voor de chemie. Er is oog voor de beperkte beschikbaarheid, ook voor productie van transportbrandstoffen op basis van biomassa. De experts zien dat het gebruik als brandstof voor elektriciteits- en warmteopwekking omstreden is. De afweging over toepassingen wordt gecompliceerd door de grote verscheidenheid aan biomassastromen, waarvan een deel sowieso beschikbaar blijft als reststroom. De recente discussies over de wenselijkheid van op houtachtige biomassa voor opwekking van elektriciteit en warmte noopt tot het maken van een afweging welke toepassingen op lange termijn acceptabel zijn. Voor Rotterdam is dan vooral de internationale context belangrijk als knooppunt voor biograndstoffen, afvalstromen en biobrandstoffen.

CO₂ als koolstofbron in plaats van biomassa wordt niet expliciet genoemd door de experts. Dat geldt evenmin voor biogene CO₂ die kan worden opgeslagen om negatieve emissies te realiseren (BECCS). In de interviews wordt hier slechts incidenteel op ingegaan. Er zijn door de experts ook geen duidelijke clustervoordelen voor biomassa aangegeven.

Restwarmte

In Rotterdam is het restwarmtegebruik in de gebouwde omgeving en tuinbouw altijd sterk achtergebleven bij de beschikbare warmte uit de industrie en elektriciteitsproductie. Er wordt voor de energietransitie van de gebouwde omgeving nu afgewogen tot hoever rondom het Rotterdamse industrie en havengebied restwarmte moet worden geleverd. Toepassing van restwarmte in de gebouwde omgeving via een publiek net wordt algemeen ondersteund door de experts. De geïnterviewden zien wel de risico's van vertragingen bij de aanleg en het gebruik van de infrastructuur. Investerings in infrastructuur en distributienetten hebben een lange aanlooptijd nodig. Het knelpunt ligt niet zozeer bij de industrie. Restwarmtelevering aan de gebouwde omgeving leidt niet tot emissiereductie bij de industrie. Daardoor is er geen prikkel voor de industrie om dit uit te werken of projecten te initiëren.

Onderlinge rechtstreekse levering van restwarmte of stoom vond altijd al plaats, op initiatief van de bedrijven. Lokale stoomnetten tussen bedrijven zijn er wel in de Botlek en rond de grote raffinaderijen. Er zijn enkele initiatieven voor uitbreiding van deze netten, maar geen plannen voor een meer collectieve stoomvoorziening.

4.3.4 Bevindingen over technologische richtingen

Door de meeste experts is aangegeven dat nu geen oplossingsrichtingen moeten worden uitgesloten. Er moet dus gestart worden met elektrificatie, blauwe en groene waterstof, geothermie, energiebesparing, CCS, CCU, biomassatoepassingen en plastic recycling. Potentiele padafhankelijkheid of tegenstellingen worden door de experts wel gesignaleerd.

In de eerste plaats geldt dat voor CCS. CCS is voorlopig de belangrijkste technologie voor Rotterdam om de uitstoot van CO₂ te reduceren. Er is nu brede steun voor de aanleg van de infrastructuur in de cluster die CCS mogelijk gaat maken. CCS wordt gezien als een oplossing die ook op langere termijn toegepast wordt in Rotterdam. Dat betekent dat ook op langere termijn gebruik wordt gemaakt van fossiele brandstoffen en opslag van CO₂ in de Noordzeebodem. CCS heeft een relatief groot en goedkoop potentieel dat duurdere opties als elektrificatie en groene waterstof kan beconcurreren. In het klimaatakkoord is een beperking van subsidie op CCS bij fossiele bronnen opgenomen en een horizon in 2035. Er is echter geen beperking op ongesubsidieerde CCS vastgelegd in het klimaatakkoord. Het kan voor Rotterdam in de toekomst een rendabele optie worden door kostendaling en een aantrekkelijke CO₂-prijs. Voor bedrijven met geïnstalleerde CCS wordt de omschakeling naar elektrificatie of groene waterstof belemmerd, als CCS de goedkoopste reductie-optie blijft.

Elektrificatie voor proceswarmte wordt gezien als een belangrijke reductieoptie waarvoor hernieuwbare energie kan worden toegepast. Inzet van elektrische boilers is mogelijk, specifieke fornuizen en ovens op elektriciteit worden pas toegepast na een uitgebreid technologisch ontwikkeltraject. Over elektrificatie worden echter zorgen geuit omdat er onvoldoende uitzicht is op kostendekking. Daarnaast heeft de industrie te weinig invloed op de benodigde uitbreiding van het elektriciteitsnet. Een belangrijke afweging voor de industrie is de keuze tussen waterstof en elektrificatie. De onzekerheid over elektrificatie wordt versterkt door de perspectieven voor waterstof als alternatief op langere termijn. Voor de industrie kan de keuze tussen "elektronen en moleculen" een dilemma vormen: wachten totdat op lange termijn waterstof ook qua kosten aantrekkelijk is, of nu de meer ingrijpende ombouw naar elektrificatie in gang zetten.

Waterstof is duurder in productie dan elektriciteit, maar kan goedkoper worden getransporteerd, opgeslagen, en relatief makkelijk worden toegepast in bestaande stookinstallaties. Per toepassing en locatie kunnen de integrale kosten van elektriciteit of waterstof verschillend uitpakken. Die toepassingen lopen uiteen van grondstof voor producten, grondstof voor synthetische brandstof, brandstof voor transport, in de gebouwde omgeving of in de zware industrie.

Rotterdam is relatief sterk in grijze waterstof en heeft ook ervaring met waterstofproductie uit raffinaderijgas en zware olieresiduen. De stap naar blauwe waterstof is daarmee relatief klein: dit vereist vooral aansluiting op een CO₂-afvoersysteem. Toepassing van blauwe waterstof voor ondervuring in raffinaderijen, zoals voorgesteld in H-vision, is de-facto een vorm van pre-combustion CCS. Er lijken voorlopig geen belemmeringen voor blauwe waterstof in de vorm van de beschikbaarheid van goedkoop aardgas, restgassen en opslagmogelijkheden voor CO₂.

Vanuit de overheid is er een belangrijke afweging tussen kostbare investeringen in elektriciteitsinfrastructuur of hogere exploitatiesteun voor relatief dure waterstofproductie. Beslissingen over elektriciteitsinfrastructuur moeten circa tien jaar voor ingebruikname genomen worden. Daardoor heeft de afweging tussen elektrificatie en waterstof urgentie gekregen. Waterstof is nu vooral een belangrijke belofte voor de lange termijn die investeringen in elektrificatie en elektrische infrastructuur onzeker maken.

Afhankelijk van de ontwikkeling van de aardgas- en CO₂-prijs kan ook blauwe waterstof op termijn aantrekkelijk blijven en daarmee verdere verduurzaming belemmeren. Dit kan nog versterkt worden door leereffecten, en door import van blauwe waterstof. Landen met grote aardgasreserves zien productie van blauwe waterstof mogelijk als een nieuwe kans. De kosten van blauwe waterstof zijn hoger dan van aardgas, en blauwe waterstof voor ondervuring wordt nu nog onvoldoende ondersteund met SDE++. Groene waterstof, geproduceerd met hernieuwbare elektriciteit en elektrolyse is nu echter nog veel duurder. Het vereist ontwikkeling van ongekeerde elektrolysecapaciteit, en bij elektrolyse gaat ongeveer een derde van de energie verloren. Blauwe en groene waterstof worden wel gezien als technieken die elkaar gaan opvolgen. Het is onduidelijk of dit door kostendalingen via de markt wordt bewerkstelligd. Er is geen beleid voorzien dat stuurt van blauw naar groen, er wordt gestuurd op CO₂. De aanbieders van waterstof kunnen het nu geraamde kostenverschil mogelijk overbruggen. Hoe een wereldmarkt van waterstof zich op termijn (blauw of groen) gaat ontwikkelen is nog niet duidelijk.

Energiebesparing en restwarmte zijn de thema's die al tientallen jaren in Rotterdam geagendeerd zijn. Veel bedrijven nemen sinds 1990 deel aan meerjarenafspraken energie-efficiency, dit beleid wordt met het Klimaatakkoord beëindigd. Ook het potentieel aan bruikbare restwarmte van het Rotterdamse industriegebied wordt al tientallen jaren onderkend. Toch verlopen de initiatieven voor ontwikkeling van onderlinge warmtelevering en stadsverwarming moeizaam. Het initiatief moet komen van een krachtige publieke partij die grote investeringen over een lange termijn kan doen. De industrie ziet hier geen eigen rol, de knelpunten liggen vooral aan de vraagzijde.

Aan energiebesparing wordt relatief weinig aandacht besteed in de onderzochte studies. Deltalinqs heeft wel enkele innovatiestudies lopen en beheert een steunfonds. Besparing wordt vooral gezien als een vanzelfsprekende incrementele verbetering die geen extra beleid vereist. Opschaling van restwarmte is wel onderdeel van de Havenvisie Rotterdam. Energiebesparing en restwarmtegebruik concurreren niet met andere technologische richtingen. Ook in de verre toekomst zijn er waarschijnlijk processen die restwarmte kunnen leveren, zoals elektrolyse.

Clusteraspecten

De nieuwe technologische richtingen profiteren allemaal van de schaal die in een cluster als Rotterdam gerealiseerd kan worden. Dat geldt bij uitstek voor waterstof en CCS. Faciliteiten hiervoor kunnen bedrijven aantrekken en daarmee groei en kostendaling opleveren. Over het

beheer en gebruik van nieuwe infrastructuur in het cluster kan verschillend worden gedacht. De industrie heeft aarzelingen bij een publiek beheerde, gereguleerde open infrastructuur.

Bestaande onderlinge leveringen tussen bedrijven, zoals stoom uit kolencentrales of levering van fossiele chemische basisproducten en restgassen vragen om herziening. Dit vereist in het cluster een zoektocht naar nieuwe optimalisaties. Ook de noodzakelijke uitbreiding van de elektriciteitsinfrastructuur is een nog niet opgeloste puzzel in Rotterdam. Het is niet duidelijk hoe netwerkbedrijven en industrie dit toekomstbestendig kunnen optimaliseren. De industrie is, mede door mededingingsregels, terughoudend met het delen van de eigen plannen en maken van gemeenschappelijke plannen. Dat kan de mogelijke clustervoordelen beperken.

De clustervoordelen van een meer circulair materialensysteem zijn voor Rotterdam niet in kaart gebracht. Circulariteit is in de studies en interviews alleen aan de orde gekomen waar het chemische processen betreft.

4.4 Welke projecten worden gerealiseerd?

Uit de interviews kwam vaak naar voren dat de echte drijvende kracht komt uit concrete projecten, meer dan uit roadmaps of scenariostudies. Bij de projecten wordt zichtbaar wie de investeringen gaat doen en zich daarmee committeert aan de verduurzaming. In deze paragraaf wordt ingezoomd op belangrijke bedrijfsoverstijgende projecten in het cluster Rotterdam. Tot welke nieuwe situaties en oplossingen leiden deze projecten? Wie is verantwoordelijk en belanghebbend? Wat maakt dat een project gerealiseerd gaat worden? In het bijzonder wordt ook de besluitvorming en de voortgang van de projecten in beeld gebracht.

We behandelen enkele belangrijke projecten wat betreft de energietransitie in het cluster Rotterdam. Dat zijn Porthos (CCS), H-vision (waterstof), de Warmterotonde (uitbreiding van het restwarmtenet), het stoomnet in Botlek en het Waste-to-Chemicals project. Directe elektrificatie met elektrische boilers en warmtepompen en elektrolyseprojecten zijn uiteraard ook relevant.

4.4.1 Porthos

Porthos is het initiatief om CO₂ uit het Rotterdamse industriecluster te transporteren naar en op te slaan in lege gasvelden onder de Noordzee. Het is een initiatief van Gasunie, Havenbedrijf Rotterdam en Energie Beheer Nederland (EBN), drie gevestigde publieke organisaties die opereren op afstand van de Rijksoverheid. Eind 2020 is de projectorganisatie van Porthos bezig met de technische voorbereidingen. De verwachting is indien begin 2021 SDE++-subsidie wordt toegekend aan projecten bij bedrijven die gebruik willen maken van Porthos, een finale investeringsbeslissing kan worden genomen begin 2022. Bij een positief besluit kan eind 2024 de eerste CO₂ worden opgeborgen. Voorbereidingen voor de afvang van CO₂ met een omvang van 2,5 Mton op jaarbasis worden getroffen door ExxonMobil, Shell, Air Liquide en Air Products⁹. Het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) heeft in 2019 de reikwijdte van de MER bepaald (EZK, 2019); de ruimtelijke inpassing loopt via de Rijkscoördinatieregeling. De contouren van de marktordening van CCS en bekostiging van CO₂-infrastructuur zijn al geschetst in de Rijksvisie marktontwikkeling voor de energietransitie (EZK, 2020a). De wettelijke kaders hiervoor moeten uiterlijk 2022 zijn aangepast (EZK, 2020b).

⁹ Zie Rotterdamccus.nl

Porthos heeft als project een centrale rol in Rotterdam, en ook daarbuiten. Het is mogelijk dat ook andere clusters, zoals Zeeland en Chemelot, en mogelijk zelfs vanuit het buitenland, CO₂ gaan aanleveren. Andere projecten zoals H-vision zijn afhankelijk van Porthos.

De verwachting van de experts is dat Porthos wordt gerealiseerd. De reden hiervoor is een combinatie van technische haalbaarheid, een goede organisatie, competente initiatiefnemers, druk vanuit de bedrijven, en financiële haalbaarheid met SDE++ en EU ETS. Ook geeft de in 2021 in werking getreden wet CO₂-heffing industrie een extra impuls. In oktober 2020 werd bekend dat de Europese Commissie het Porthosproject een subsidie toekent van 102 miljoen Euro uit het Connecting Europe Facility-budget. Dat is gebaseerd op de overweging dat Rotterdam samenwerkt met de clusters Antwerpen en Zeeland. Het Europees Parlement moet dit nog goedkeuren.

Volgens sommige geïnterviewden is er nog een horde ten aanzien van de aansprakelijkheid op termijn. Daarnaast wordt gevreesd voor een mogelijke bouwstop in verband met stikstofemissies tijdens de bouw.

Porthos is het verst gevorderde clusterproject, maar het plan is niet nieuw in zijn soort (EZ, 2017). Eerdere CCS-initiatieven in de regio Rotterdam (Barendrecht, ROAD) zijn gestrand vanwege onvoldoende financiële middelen en publieke weerstand. Kenmerkend nu is dat naast de financiële ruimte er ook een bredere samenwerking is ontstaan. Wat opvalt is dat de initiatiefnemers geen marktpartijen zijn die primair gedreven zijn door economische prikkels. Het zijn overheidsbedrijven die wettelijk de ruimte hebben of nemen om deze investeringen te doen. De industrie lijkt minder voortvarend, nog maar vier private bedrijven hebben zich tot nu toe geëngageerd.

4.4.2 H-vision

H-vision is een veelomvattend initiatief dat bestaat uit diverse deelprojecten voor productie, infrastructuur en opslag van waterstof (Figuur 11).



Figuur 11 Overzicht van de H-visionplannen (Havenbedrijf Rotterdam, 2020)

H-vision ambieert gangmaker te worden voor een waterstofeconomie vanuit de Rotterdamse haven (H-vision, 2019). De concrete eerste stap is het realiseren van een of meer nieuwe productie-installaties voor blauwe waterstof met autothermal reforming (ATR) van raffinaderijgas en hoogcalorisch aardgas. De uitgestoten CO₂ zal worden afgevangen en opgeslagen via de toekomstige infrastructuur van Porthos. De waterstof wordt per pijpleiding geleverd aan raffinaderijen en flexibel elektriciteitsvermogen in het industriecluster Rotterdam, ter vervanging van hun huidige brandstoffen aardgas, raffinaderijgas en kolen. De zuiverheid

van het geproduceerde waterstof is lager dan in geval van groene of grijze waterstof op basis van steam methane reforming (SMR), maar dit vormt voor de beoogde toepassing als brandstof geen bezwaar.

Deltalinqs, de bedrijvenvereniging in de Rotterdamse haven, coördineert het initiatief. Het is een samenwerkingsverband van Deltalinqs, Air Liquide, BP, Gasunie, Havenbedrijf Rotterdam, Power Plant Rotterdam, Shell, Uniper, Koninklijke Vopak, ExxonMobil, EBN en Equinor.

Het meest concreet voorgestelde project is de bouw van een 750 MW ATR op ten minste 90% raffinaderijgas, inclusief CCS en teruglevering van waterstof voor ondervuring in de raffinaderijen. Daarmee is het feitelijk een pre-combustion CCS-project, en kan hiervoor in SDE++-subsidie aanvragen. Vanuit de projectpartners wordt aangegeven dat de maximum bijdrage vanuit de SDE++ nu niet toereikend is om het project te realiseren.

De status van H-vision is dat van een technisch vrij ver uitgewerkt plan. Of H-vision doorgang zal vinden, en in welke vorm, is op het moment van schrijven (begin 2021) lastig vast te stellen. Ook de experts zijn verdeeld over hun verwachtingen ten aanzien van de realisatie.

Het Havenbedrijf en de Gasunie geven de voorkeur aan een publiek toegankelijke waterstofinfrastructuur. De industriële partners prefereren een privaat netwerk (H-vision, 2020), dat later mogelijk op het publieke net aansluit. Er is ook nog geen duidelijkheid over de kwaliteit van de waterstof in de nieuwe infrastructuur. Voor toepassing als brandstof is een minder hoge zuiverheid geschikt dan voor grondstof. H-vision richt zich vooralsnog op waterstof voor brandstoftoepassingen op industriële schaal.

Verdere plannen betreffen onder andere een conversiepark met elektrolyzers die groene waterstof maken en een terminal voor aanlanding van waterstof per schip op de Maasvlakte. BP en Nouryon kondigden in 2019 plannen aan voor een 250 MW elektrolyser (H2fifty). Shell en ENECO lanceerden een plan voor 200 MW elektrolyservermogen in 2020, met stroom van het windpark Hollandse kust noord (Shell, 2020). Daarnaast zijn er nog kleinere elektrolyseplannen. Voor de financiële ondersteuning van de grote elektrolyseplannen wordt een beroep gedaan op de Rijksoverheid, grotendeels buiten de SDE++ om.

De eerste stap van H-vision voor blauwe waterstof kan op relatief korte termijn cluster- en schaalvoordelen bieden. De raffinaderijen hoeven slechts beperkt te worden aangepast. Dat lijkt aantrekkelijker dan wanneer de bedrijven individueel moeten investeren in dergelijke technologie. H-vision biedt een oplossing voor de koolstofrijke restgassen van de raffinaderijen en adresseert de toenemende vraag naar CO₂-emissiearme brandstof.

Het is nog onduidelijk hoe de vraag naar emissiearme brandstof zich in Rotterdam gaat ontwikkelen. Dit wordt sterk door toekomstig beleid bepaald. Groene waterstof lijkt zowel nationaal als internationaal de koers te worden, en is dus relevant voor de internationale ambities van Rotterdam (EZK, 2020c; Havenbedrijf Rotterdam, 2020a).

4.4.3 Restwarmte voor de gebouwde omgeving

Het gebruik van restwarmte uit de industriecluster Rotterdam in de gebouwde omgeving wordt beschouwd als een *no-brainer*. Plannen voor het gebruik van restwarmte uit het Rotterdamse havengebied in het Rotterdamse stedelijk gebied zijn niet nieuw. In Rotterdam bestaan ongeveer 56.000 aansluitingen op warmtenetten, met een levering van jaarlijks ongeveer 3,5 PJ. De belangrijkste warmtebron is de AVR, daarnaast leveren Shell Pernis en enkele kleinere centrales warmte (CBS; TNO, 2020). Shell, Havenbedrijf Rotterdam en Warmtebedrijf Rotterdam waren initiatiefnemers van een restwarmteproject op Katendrecht

in 2018. De belangrijkste uitbreidingsprojecten zijn leidingen in noordrichting: de "leiding over west" en de "leiding over midden". Havenbedrijf Rotterdam heeft hiervoor een gezamenlijke organisatie opgezet met Gasunie. Beide bedrijven zijn ook onderdeel van de Warmtealliantie Zuid-Holland (Provincie, Havenbedrijf, Gasunie, Eneco, WBR en Gemeente Rotterdam) die in 2017 is opgezet. Naast restwarmte wordt ook geothermie als warmtebron betrokken. Beoogd wordt een open net te realiseren met scheiding tussen netbeheerder, leveranciers en afnemers. Er is 2 tot 3 GW aan restwarmte beschikbaar (60-90 PJ op jaarbasis). Dit is al een flink deel van de huidige warmtevraag van de gebouwde omgeving en glastuinbouw in de Provincie Zuid-Holland (120 PJ). Verder dan enkele tientallen kilometers kan warmte niet efficiënt getransporteerd worden, maar ook dan lijkt voldoende afname in Zuid-Holland geen probleem. Door het vraagprofiel is vooral de glastuinbouw interessant.

Betrokkenen zien op korte termijn weinig voortgang. De besluitvormingsprocessen zijn complex en langdurig, met veel betrokkenen. Voor restwarmtebenutting is geen wettelijke taak of rolverdeling. Initiatieven zoals het Warmtebedrijf Rotterdam zijn gevoelig voor financiële risico's. Het lijkt erop dat de Rijksoverheid een grotere en meer beslissende rol zal moeten nemen om de geschikte schaalgrootte te bereiken en meer voortgang te boeken. Ingevolge het Klimaatakkoord loopt de besluitvorming over warmtenetten vooral via de gemeenten. Het is niet duidelijk in hoeverre gemeenten en bedrijven in Zuid-Holland zullen kiezen voor restwarmte uit Rotterdam of voor een andere invulling van de warmtevraag. Daarbij speelt ook het aspect van de vooralsnog fossiele herkomst van de te leveren restwarmte een rol. Er is immers nog geen langetermijnbeeld over hernieuwbare restwarmte in Rotterdam, bijvoorbeeld uit elektrolyse.

4.4.4 Stoompijp Botlek

Stoomlevering aan naburige bedrijven is gangbare praktijk in Rotterdam, Dordrecht en Moerdijk. Dit betreft initiatieven van de betrokken bedrijven, waarbij wederzijds voordeel en vertrouwen nodig is. Nabijheid in een industriecluster is hier bij uitstek een voordeel. Lang niet alle energetische mogelijkheden worden echter gerealiseerd. In 2012 is een stoompijp van 1,5 km gerealiseerd tussen AVR en Emerald Kalama Chemicals voor 88 ton stoom per uur (40 bar). Cabot is aangesloten op dit stoomnet en levert stoom aan Linde en Kemira. Er zijn plannen voor het uitbreiden van het stoomnet in het Botlekgebied naar onder andere Nouryon, Lyondell en Huntsman.

Volgens de experts zou het mogelijk moeten zijn om de uitbreiding te realiseren, maar ook hier zitten veel partijen aan tafel. Het is de aard van de bedrijven om het onderste uit de kan te willen, en er is weinig openheid. Mogelijk is een onafhankelijke partij nodig die het initiatief trekt en de partijen voor een 'take-it-or-leave-it' situatie kan zetten. Verder wordt aangegeven dat het lastig is om subsidie los te krijgen voor een dergelijk project. In het geval van Botlek was voor het installeren van een nieuwe biomassaketel makkelijker subsidie te krijgen (SDE+). Mogelijk kan onder de nieuwe SDE++-categorieën nu wel een restwarmteproject van de grond komen.

4.4.5 Waste-to-chemicals (W2C Rotterdam)

Het project Waste to chemicals draait om een fabriek die 220 kiloton methanol per jaar gaat produceren uit afval. Initiatiefnemers zijn Air Liquide, Enerkem, Nouryon, Shell en het Havenbedrijf. Enerkem is een Canadees bedrijf dat de technologie heeft ontwikkeld en toegepast. De methanol is bestemd voor de transportsector, maar het is ook een chemisch basisproduct. Methanol zou binnen het cluster verschillende directe afnemers kunnen hebben. Dit project past in een eindbeeld van circulaire omgang met afval en biomassa.

Het consortium heeft inmiddels detail-engineering verricht en de aanvraag van de omgevingsvergunning ingediend. Diverse overheden, waaronder het ministerie van EZK,

ondersteunen het initiatief. Het consortium streefde ernaar om in de loop van 2019 de definitieve investeringsbeslissing te nemen, maar er zijn nog belemmeringen.

Probleem is dat dit initiatief moeilijk past in bestaande subsidieregelingen van de Rijksoverheid waardoor het lastig is de financiering voor de investering voor dit project rond te krijgen. De exploitatie lijkt verder zonder subsidie mogelijk.

4.4.6 Bevindingen over projecten

Door de beperkte mogelijkheden om initiatieven door te lichten volstaan we hier met enkele observaties, op basis van de interviews en informatie over de vijf behandelde projecten.

- Niet regionale en landelijke plannen, maar investeringen in concrete projecten bieden voor marktpartijen de meeste zekerheid over voortgang van de energietransitie in Rotterdam.
- Marktpartijen lijken elkaar door de eigen strakke financiële kaders moeilijk te vinden in clusterprojecten. Mogelijk wordt dit ook versterkt door de mededingingsregels.
- Niet de private sector, maar publieke instellingen zijn vaak de belangrijkste initiatiefnemers voor concrete bedrijfsgrensoverschrijdende projecten in Rotterdam.
- Projecten waarbij het realiseren van infrastructuur onderdeel is van het project hebben een sleutelrol en lijken randvoorwaardelijk voor verdere initiatieven in het cluster.
- Grotere projecten waarbij meer bedrijven in het cluster zijn betrokken lijken, vooral vanwege het unieke karakter van deze projecten, niet goed te passen in de huidige SDE++-categorieën.
- Voor het Porthosproject lijken de belangrijkste belemmeringen nu te zijn opgeheven, maar diverse andere projecten blijven onzeker, vooral door ontoereikende financiële middelen.

Clusteraspecten

Projecten zoals Porthos en H-vision zijn bij uitstek voorbeelden van de mogelijkheid om clustervoordeel te realiseren. Ook de restwarmteplannen profiteren van de clustereigenschappen. Ze scheppen bovendien de kans voor toekomstige samenwerking tussen het haven- en industriegebied en de bebouwde gebieden in de omgeving. Er blijft nog een spanningsveld tussen de eigenheid van het cluster, de voorgestelde projecten en het uniforme stimuleringsbeleid op rijksniveau. Voor de organisatie van clusterinitiatieven biedt de Rijksoverheid voldoende flexibiliteit en medewerking. Waar clusterinitiatieven echter niet van de grond komen of stagneren, zou de Rijksoverheid een actievere rol kunnen nemen, bijvoorbeeld met ondersteuning van specifieke projecten.

4.4.7 Beoordelingskader projecten

Aangezien concrete projecten worden beschouwd als de belangrijkste drijvende kracht voor de energietransitie is het belangrijk de voortgang daarvan te monitoren. Vanwege de grote diversiteit in projecten is het echter moeilijk uniforme indicatoren te hanteren. In tabel 4.1 is niettemin een algemene opzet gemaakt om de procesmatige voortgang te monitoren. Het Porthosproject bevindt zich momenteel in stadium 4. Een dergelijk beoordelingskader zou ook jaarlijks deel kunnen zijn van publieke rapportages. Dit zou een beeld geven van de inspanningen van de industriepartijen, in de fases die aan de daadwerkelijke emissiereductie voorafgaan.

Tabel 4.1 Opzet voor procesmatige monitoring van de voortgang van projecten.

Projectfase	1	2	3	4	5
Voortgangsfase	Verkend in studie	Initiatiefnemers bevestigen dat er plannen worden gemaakt	Oplossingen uitgewerkt, in een gekwantificeerd plan, incl. kostenplaatje	Acties voorbereiding in gang gezet volgens plan	Besloten dat het wordt gerealiseerd, finale investeringsbeslissing (FID) genomen
Checks op concreetheid	Project doorgerekend en potentieel gekwantificeerd? (capaciteit, emissiereductie)	Actoren bepaald: wie? Projectorganisatie bekend? Publiciteit?	Zijn hiervoor middelen beschikbaar? Menskracht, investeerders, financiering voortraject?	Planning: Loopt de engineering, vergunningen en subsidieaanvraag?	Is aan alle voorwaarden voldaan: incl. steunkader, infrastructuur, wetgeving, bevestiging alle belanghebbenden?

5 Aanknopingspunten voor beleid

Op basis van de bevindingen over eindbeelden, technologische richtingen en projecten komen we tot enkele beleidsaanbevelingen. Deze zijn deels breder toepasbaar dan alleen in de Rotterdamse situatie.

5.1 Eindbeelden

De behandelde studies gebruiken vaak de omvang van de huidige industriële productie als kwantitatief uitgangspunt voor het toekomstbeeld. Dat is begrijpelijk uit oogpunt van herkenbaarheid voor de belanghebbenden. Er is niet altijd duidelijk aangegeven welke energie en materiaalstromen in Rotterdam horen bij een duurzaam eindbeeld.

- De ambities over sterke emissiereductie en CO₂-neutraliteit sluiten helder aan op de nationale en Europese doelen. De toekomstige rol van de CO₂-stromen in en uit Rotterdam kan echter concreter worden geformuleerd. Dat kan aan de hand van de volgende vragen: Wat is de uiteindelijke ambitie voor geïmporteerde CO₂ die vanuit Rotterdam wordt opgeslagen? Welk perspectief ziet Rotterdam voor kort- of langdurige vastlegging van CO₂ in producten? Waar komt de koolstof vandaan voor deze vastlegging? Wat is de ambitie voor biogene CO₂ als mogelijke kans voor netto opname?
- Hoewel er consensus is over de afnemende productie van motorbrandstoffen door de raffinagesector, is ook een Rotterdamse visie op een kleinere omvang van de organische chemie nodig. Circulair gebruik van kunststoffen zal op lange termijn vooral plaats moeten vinden door hergebruik en mechanische recycling. De huidige schaal van gebruik van koolstofhoudende grondstof voor de chemische industrie is onhoudbaar in een meer circulaire materiaalhuishouding.
- Toepassing van kunststofafval en biomassa als grondstof voor de chemie en voor transportbrandstoffen heeft beperkingen ten aanzien van de duurzame beschikbaarheid. Er ontbreekt in Rotterdam nog een duidelijk beeld over de herkomst van biomassa en afval en de omvang daarvan.

5.2 Technologische richtingen

Voor de energietransitie moeten nu geen technologische keuzes worden uitgesloten, en dat lijkt in Rotterdam ook niet te gebeuren. Er wordt vooral gestuurd op het verminderen van CO₂-emissies. Dat betekent echter niet dat marktpartijen de keuzes gaan maken die automatisch leiden tot duurzaam hernieuwbaar energiegebruik en circulariteit. Dergelijke keuzes worden niet noodzakelijkerwijs aantrekkelijk als er slechts gestuurd wordt op de momenteel meest kosteneffectieve CO₂-reductie (in scope 1 en 2).

- CCS is nu een dominante keuze in Rotterdam. CCS kan een belangrijke rol spelen bij het 'meters maken' met emissiereductie. CCS zal voor CO₂-reductie een grote betekenis krijgen in Rotterdam door verdere infrastructuurontwikkeling, volumegroei en kostendaling. Er is een beperking op subsidie voor CCS in het Klimaatakkoord, maar die belemmert waarschijnlijk niet de verdere groei. Deze beperking is bedoeld om schone alternatieven voor CCS niet te verdringen. Omschakeling naar deze meer duurzame reductietechnologie wordt evenwel aan de markt overgelaten. De verschillende routekaarten en visies maken niet duidelijk welke keuzes worden gemaakt om deze verdringing te voorkomen.
- Elektrificatie voor warmtevoorziening van productieprocessen lijkt moeilijk van de grond te komen. De elektrische boiler lijkt nu in Rotterdam de optie met voldoende technisch

en economisch potentieel die toepasbaar is in bestaande situaties. De elektrische boiler lijkt vooral een rol te krijgen als flexibiliteitsoptie voor de elektriciteitssector om wisselingen in hernieuwbare productie op te vangen; vollast-elektrificatie met elektrische boilers wordt immers niet ondersteund. Bovendien wordt elektrificatie onzeker door de waterstofperspectieven op lange termijn. Een kostbare omschakeling op elektrische verwarmingstechnieken is mogelijk niet nodig als er tijdig voldoende en betaalbare waterstof beschikbaar komt. Die leidt tot een aarzelende houding van de industrie en markt. De industrie heeft behoefte aan technologische keuzes over hernieuwbare elektriciteit. Waarborgt de overheid dat er voldoende capaciteit beschikbaar komt en dat stroom geleverd kan worden tegen betaalbare prijzen? Hoe kan in de toekomst voldoende CO₂-vrije basislast geleverd worden, en welke elektriciteitsinfrastructuur wordt aangelegd in Rotterdam? Krijgen de netbeheerders hier meer mogelijkheden en verantwoordelijkheden? Wie wordt primair verantwoordelijk voor het leveren van flexibiliteit: de industrie of de energiebedrijven?

- Het is ook onduidelijk hoe een eventueel gewenste overgang van blauwe waterstof naar groene waterstof wordt gerealiseerd. Er kan mogelijk een substantieel internationaal aanbod aan blauwe waterstof ontstaan dat ook op termijn door de aanwezige infrastructuur een voorsprong houdt op groene waterstof. Voor investeerders in groene waterstof schept dat onzekerheid. De Nederlandse, maar ook de Europese overheid kan duidelijker aangeven wat de uitgangspunten worden als een overgang van blauwe naar groene waterstof wordt nagestreefd, zowel voor eigen productie als import.
- Om restwarmtegebruik meer van de grond te krijgen is een voortvarender aanpak vereist. Voor restwarmtegebruik in het havengebied zelf kan vanuit de bestaande organisatiestructuur (Havenbedrijf, Deltalinqs, DCMR) meer stimulans worden geboden om voor de hand liggende verbeteringen te realiseren. Mogelijk kan het Rijk hierbij ondersteunen. Ook voor restwarmtegebruik in de gebouwde omgeving is meer regie gewenst. Hier ligt het initiatief nu bij de gemeenten en de glastuinbouw, maar de risico's van investeringen zijn groot. Via verdere ontwikkeling van de warmtewetgeving kan het Rijk hieraan meer richting geven en op termijn het volume aan restwarmtegebruik vergroten. Daarnaast kan de regie op de grootschalige warmte-infrastructuur worden versterkt. Voor de industrie is hier geen initiatiefrol weggelegd.

5.3 Projecten

Transitieprojecten in een cluster als Rotterdam zijn grootschalig en specifiek voor het lokale systeem. Er is een grote hoeveelheid belangrijke plannen ontwikkeld voor Rotterdam, waarvan de meeste echter nog niet in de concrete voorbereidingsfase zitten. Voor een geschikte financiële ondersteuning wordt vooral naar de rijksoverheid gekeken. Voor diverse projecten is er echter nog een mismatch tussen het door het rijk geboden ondersteuningskader en de behoefte van bedrijven.

- Overheidsbedrijven zijn in Rotterdam de belangrijkste initiatiefnemers voor bedrijfsgrensoverschrijdende projecten. Private bedrijven zijn voorzichtig met het zich committeren aan projecten.
- Specifieke projecten zullen gebaat zijn bij specifiekere ondersteuning. De Rijksoverheid kan subsidieregelingen aanpassen zodat ze beter zijn toegesneden op specifieke situaties.
- Ongelijke situaties kunnen ontstaan voor de individuele industrieën door specifieke beperkingen van de subsidiemogelijkheden, in combinatie met beschikbaarheid van infrastructuur en een sterk groeiende CO₂-heffing. De overheid is nog onduidelijk over de mate waarin in individuele situaties bedrijven worden meegeholpen in de transitie. Rotterdam als cluster is niettemin in het voordeel door de ligging aan zee, bestaande infrastructuur en de mogelijkheden voor verdere ontwikkeling van infrastructuur.

6 Bibliografie

- AVR. (2019). *CO₂-reductieplan 2019*. Opgehaald van https://www.avr.nl/assets/media/co2-reductieplan-updateapril2019_1.pdf
- CBS. (2020). *Aardoliegrondstoffenbalans; aanbod, verbruik en voorraad*. Opgehaald van CBS Statline: <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/83325NED/table>
- CBS. (2020a). *Aardolieproductenbalans; aanbod, verbruik en voorraad*. Opgehaald van CBS Statline: <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/83403NED/table?ts=1606226244291>
- CBS; TNO. (2020). *Warmtemonitor 2019*.
- Coenrady, C. (2020). *Waste to Energy Facilities Worldwide*. Opgehaald van Coenrady: http://www.coenrady.com/2020WTE_D20.xlsx
- DNVGL. (2018). *CO₂ Reductie Roadmap van de Nederlandse raffinaderijen*.
- DNVGL. (2019). *Taskforce Infrastructuur Klimaatakkoord industrie, fase1: knelpunten, draft report*.
- DNVGL. (2020). *Taskforce Infrastructuur Klimaatakkoord Industrie*.
- Domenech, T., Bleischwitz, R., Doranova, A., Panayotopoulos, D., & Roman, L. (2019). Mapping Industrial Symbiosis Development in Europe: typologies of networks, characteristics, performance and contribution to the Circular Economy. *Resources, Conservation & Recycling*, 141, 76-98.
- Ecofys; Berenschot. (2018). *Chemistry for climate: Acting on the need for speed. Roadmap for the Dutch Chemical Industry towards 2050*.
- Ellison, G., Glaeser, E., & Kerr, W. (2010). What Causes Industry Agglomeration? Evidence from Coagglomeration Patterns. *American Economic Review*, 100: 1195-1213. Opgehaald van <http://www.aeaweb.org/articles.php?doi=10.1257/aer.100.3.1195>
- Emissieregistratie. (2020). *Emissieregistratie*. Opgehaald van <http://emissieregistratie.nl/erpubliek/erpub/facility.aspx>
- Energieswitch. (2019). *Rotterdams Klimaatakkoord*.
- EPCA. (2007). *A Paradigm Shift : Supply Chain Collaboration and Competition in and between Europe's Chemical Clusters*. European Petrochemical Association.
- Europese Commissie. (2018). *A European Strategy for Plastics in a Circular Economy*.
- EZ. (2017). *Brief regering stand van zaken CCS-project ROAD*. Parlementaire monitor. Opgehaald van <https://www.parlementairemonitor.nl/9353000/1/j9vviij5epmj1ey0/vkfhofbow1i6>
- EZK. (2019). *Notitie Reikwijdte en Detailniveau voor het milieueffectrapport Rotterdam CCUS project Porthos*.
- EZK. (2020). *Kamerbrief met visie kabinet op verduurzaming basisindustrie 2050*.
- EZK. (2020a). *Kamerbrief over rijksvisie marktontwikkeling voor de energietransitie*.
- EZK. (2020b). *Klimaatplan 2021-2030*.
- EZK. (2020c). *Brief kabinetsvisie waterstof*.
- Haskoning DHV. (2019). *Notitie Reikwijdte en Detailniveau voor het milieueffectrapport Rotterdam CCUS project Porthos*.
- Havenbedrijf Rotterdam. (2019). *Energie-infrastructuur in het Rotterdamse Havengebied*.
- Havenbedrijf Rotterdam. (2019a). *Havenvisie Rotterdam*. Opgehaald van <https://www.portofrotterdam.com/sites/default/files/havenvisie-rotterdam.pdf>
- Havenbedrijf Rotterdam. (2020). *Persbericht Rotterdam stimuleert waterstofeconomie door aanleg infrastructuur*. Opgehaald van <https://www.portofrotterdam.com/nl/nieuws-en-persberichten/rotterdam-stimuleert-waterstofeconomie-door-aanleg-infrastructuur>
- Havenbedrijf Rotterdam. (2020a). *Haven van Rotterdam wordt internationale waterstofhub, Visie Havenbedrijf Rotterdam*.

- Hers, S., van der Welle, A., & van Dril, T. (2020). *Verkenning instrumentatie voor industriële elektrificatie*. TNO.
- H-vision. (2019). *Blue hydrogen as accelerator and pioneer for energy transition in the industry*. H-Vision consortium.
- H-vision. (2020). *H-vision ontwerpt volledige waardeketen voor blauwe waterstof, statusupdate*.
- IEA. (2020). *World Energy Outlook*.
- Janipour, Z., De Nooij, R., Scholten, P., Huijbregts, M., & De Coninck, H. (2020). What are sources of carbon lock-in in energy-intensive industry? A case study into Dutch chemicals production. *Energy Research and Social Science*, 60, 101320.
- Kleijne, I. (2014). *Stedin ziet aanleg Amsterdamse stoompijp wel zitten*. Opgehaald van Energiea: <https://energeia.nl/nieuws/40049716/stedin-ziet-aanleg-amsterdamse-stoompijp-wel-zitten>
- Krekt, A., & Wesselink, M. (2020). *Concept Regioplan Industriecluster Rotterdam-Moerdijk*.
- Marshall, A. (1920). *Principles of Economics*. London: MacMillan.
- McKinsey. (2017). *McKinsey & Company: Energy transition: mission (im)possible for industry?*
- NEa. (2020). *Emissiecijfers 2013-2019*. Opgehaald van Nederlandse Emissieautoriteit: <https://www.emissieautoriteit.nl/onderwerpen/rapportages-en-cijfers-ets>
- OCAP. (2020). *Onze leveranciers*. Opgehaald van OCAP: <https://www.ocap.nl/nl/onze-leveranciers/index.html>
- Port of Rotterdam. (2011). *Havenvisie 2030*.
- Port of Rotterdam. (2019). *Energie-infrastructuur in het Rotterdamse havengebied*.
- Port of Rotterdam. (2020). *Throughput 2019*. Opgehaald van Port of Rotterdam: <https://www.portofrotterdam.com/sites/default/files/throughput-port-of-rotterdam-authority-2019-and-2018.pdf>
- Porter, M. E. (1998). *The Competitive Advantage of Nations*. Palgrave Macmillan.
- Shell. (2020). *Wind als energiebron voor groene waterstoffabriek in Rotterdam*. Opgehaald van <https://www.shell.nl/media/nieuwsberichten/2020/wind-als-energiebron-voor-groene-waterstoffabriek-in-rotterdam.html>
- TKI Nieuw Gas. (2018). *Contouren van een Routekaart Waterstof*.
- Van der Linden, N. (2019). *Inventarisatie van de behoefte van de industrieclusters aan grootschalige infrastructuur voor transport van elektriciteit, waterstof, warmte en CO₂ nodig voor het realiseren van klimaatdoelstellingen*. Amsterdam: TNO.
- Van Santen, H. (2019, 4 19). *Voor raffinaderijen is de Botlek niet langer vanzelfsprekend*. Opgehaald van NRC: <https://www.nrc.nl/nieuws/2019/04/19/voor-raffinaderijen-is-de-botlek-niet-langer-vanzelfsprekend-a3957587>
- Werkgroep Industriecluster Rotterdam-Moerdijk. (2018). *In drie stappen naar een duurzaam industriecluster: Rotterdam-Moerdijk in 2050*.
- World Economic Forum; Ellen MacArthur Foundation; McKinsey & Company. (2016). *The New Plastics Economy - Rethinking the future of plastics*.
- Wuppertal Instituut. (2016). *Decarbonization Pathways for the Industrial Cluster of the Port of Rotterdam*.

Bijlage

We danken de volgende personen voor hun deskundige inzichten en openheid bij de interviews:

- Jeroen de Beer (Guidehouse)
- Allard Castelein (Port of Rotterdam)
- Marcel Galjee (Nouryon)
- Hans Grünfeld (VEMW)
- Erik Klooster (VNPI)
- Alice Krekt (Deltalinqs)
- Stefan Lechtenböhmer (Wuppertal Institut)
- Bart Leenders (Neste)
- Herman van der Meyden (Shell)
- Jaap Oldenzijl (Air Liquide)
- Ulco Vermeulen (Gasunie)
- Ron Wit (Eneco)