



TNO ONDERZOEK

Ruimtelijke effecten van
de energietransitie:
casus Haven Rotterdam

[smartport.nl](https://www.smartport.nl)



SmartPort is een samenwerkingsverband van het Havenbedrijf Rotterdam, Deltalinqs, de gemeente Rotterdam, TNO, Marin, Deltares, de Erasmus Universiteit Rotterdam en de Technische Universiteit Delft. Door inspireren, initiëren en allianties aangaan, stimuleert en financiert SmartPort wetenschappelijk onderzoek voor en door de bedrijven in de haven van Rotterdam, in samenwerking met kennisinstellingen. Het gaat om kennis ontwikkelen, delen en

gebruiken vanuit één collectieve ambitie. De transitie naar de beste en slimste haven kan alleen slagen wanneer alle betrokken partijen gezamenlijk oplossingen aandragen voor veranderingen in de toekomst. Wij zijn ervan overtuigd dat de grootste impact bij ontwikkeling van kennis is gebaseerd op specifieke vragen uit de markt en dat de beste resultaten worden bereikt door alles te halen uit de samenwerking van handel en industrie, overheden en wetenschap.

www.smartport.nl | [LinkedIn: smartportrdam](#) | [Twitter: SmartPortRdam](#) | [Instagram: smartportrdam](#)

SMARTPORT PARTNERS



WITH CONTRIBUTION





RUIMTELIJKE EFFECTEN VAN
DE ENERGIETRANSITIE:
CASUS HAVEN ROTTERDAM

Auteurs:

Remko Detz, Sebastiaan Hers, Caroline Schipper, Richard Westerga



INHOUD

Samenvatting	6
01 Inleiding	10
02 Scope, aannames en uitgangspunten	12
03 Huidige situatie en toekomstige vraag	14
04 Scenario's en ketens	16
05 Omvang ketenstromen	20
06 Huidige ruimteverdeling Haven Industrieel Complex (HIC) Rotterdam	22
07 Ruimtegebruik in verschillende scenario's voor 2050	23
08 Ruimtegebruik 2020-2050	26
09 Conclusies en aanbevelingen	28
10 Mogelijke onderwerpen voor vervolgonderzoek	30
11 Referenties	31
Appendix 1: Verondersteld ruimtebeslag per ketensegment	32

Samenvatting

Voor een toekomstbestendige haven¹ moet de haven ruimte beschikbaar maken, zodat de huidige petrochemische bedrijven kunnen verduurzamen en nieuwe duurzame clusters kunnen ontstaan. Daarbij kan gedacht worden aan productie, import en opslag van hernieuwbare brandstoffen en aanlanding van windenergie.

Om deze ruimtelijke uitdaging in beeld te brengen, heeft SmartPort TNO gevraagd om een verkennend onderzoek naar de toekomstige ontwikkeling van de ruimtevrage voor het huidige petrochemische cluster en nieuwe clusters rondom brand- en grondstoffen voor de chemische industrie. Hiertoe zijn eerst door Clingendael International Energy Program (CIEP) interviews met bedrijven gehouden die een startpunt vormen voor de ontwikkeling van een model dat een inzichtelijk beeld geeft van de verandering in de vraag naar hectares door de tijd (2020, 2030, 2040, 2050). Volgens de bevindingen van CIEP is het van belang om drie onzekerheidsdimensies te gaan variëren:

1. technologische paden
2. (in)coherentie van veranderproces in de haven
3. strategische economieën versus onbelemmerde wereldhandel in internationale handel en markten

Bovenstaande bevindingen zijn mede tot stand gekomen dankzij de betrokkenheid van onder andere Port of Rotterdam, Deltalinqs, BP, Shell, Koole, Vopak, Air Liquide, AirProducts, AVR en Uniper welke ook inhoudelijk hebben bijgedragen aan het onderzoek van TNO.

De voor deze studie opgestelde transitiepaden en scenario's zijn doorgerekend aan de hand van een vastgestelde vraag naar grondstoffen en/of energiedragers, brandstoffen en chemicaliën, mede gebaseerd op de huidige stromen die door de haven gaan. We zijn er hierbij van uitgegaan dat in 2050 hernieuwbare varianten de fossiele stromen vervangen hebben. Hoewel de plannen voor 2030 al steeds meer vorm krijgen, is het beeld voor 2050 nog erg onzeker.

We hebben drie scenario's uitgewerkt om meer inzicht te krijgen in de mogelijke ketenontwikkelingen, het bijbehorende ruimtegebruik en de onzekerheden hierbij richting 2050:

- **Scenario BIO (biomassa)**

In het BIO-scenario gaan we uit van de beschikbaarheid van veel duurzame biomassa (vooral in de vorm van houtige biomassa) tot maximaal de benodigde hoeveelheid voor invulling van de vraag.

- **Scenario SYN (synthetische brandstoffen)**

In het SYN-scenario gaan we uit van ruime beschikbaarheid van veel groene waterstof en de succesvolle opschaling van CO₂ productie via direct air capture (DAC) voor invulling van de vraag.

- **Scenario CYC (cyclisch)**

In het CYC-scenario gaan we uit van ruime beschikbaarheid van veel (huishoudelijk) afval voor invulling van de vraag. Zowel voor biomassa als waterstof wordt uitgegaan van een beperkte groei.

1. Dat wil zeggen: waar bedrijven kunnen floreren en zorgen voor inkomsten en banen, met een zo minimaal mogelijke impact op het klimaat en de natuur

Op basis van gegevens van het Havenbedrijf Rotterdam maken we onderscheid in drie verschillende typen ruimtegebruik:

- 1. Ruimte binnen scope:** dit betreft ruimte die momenteel in gebruik is door bedrijven uit het brandstoffen- en chemiecluster en die mogelijk ingezet kan worden voor de transitie naar nieuwe clusters.
- 2. Ruimte buiten scope:** dit betreft ruimte die momenteel in gebruik is door bedrijvigheid die niet substantieel beïnvloed wordt door de energietransitie. Hierbij kan gedacht worden aan logistieke bedrijvigheid.
- 3. Vrije ruimte:** dit is ruimte waar momenteel nog geen bestemming op ligt en die als zodanig ook ingezet kan worden voor de transitie.

Het ruimtegebruik in de verschillende scenario's hebben we berekend per stap in de keten. De som van deze stappen hebben we afgezet tegen de vrije ruimte en de bestaande ruimte binnen de huidige clusters die aangewend kan worden voor de transitie (ruimte binnen scope), waarna een eventueel tekort of overschot resteert. Dit schetst de situatie die ontstaat als bestaand ruimtegebruik binnen scope wordt afgebouwd tot 2050, dat wil zeggen in het gunstige geval van een *coherent* veranderingsproces in de haven. In een coherente overgang worden de fossiele ketens afgeschaald en daarbij wordt tijdig een evenredig aandeel aan ruimte vrijgemaakt. De afname in vraag naar brandstoffen leidt in dat geval in alle scenario's tot een lichte afname van ruimtegebruik in 2030, waarna het ruimtegebruik weer toeneemt richting 2050 door de opbouw van nieuwe ketens.

De mate waarin het ruimtegebruik toeneemt is afhankelijk van het scenario. Het efficiënt (her)gebruiken van bestaande bedrijfsterreinen lijkt dus essentieel om de nieuwe hernieuwbare ketens op te zetten. Dit houdt wel in dat een groot deel van het huidige industriële cluster binnen 30 jaar volledig omgevormd moet zijn en de oude ketens moeten zijn afgebouwd.

In het BIO-scenario valt op dat er een grote hoeveelheid biomassa (~2600 PJ, 144 Mt) nodig is om in de vraag te kunnen voorzien. Deze hoeveelheid komt overeen met meer dan zeven maal het huidige en toekomstige biomassa productiepotentieel in Nederland of 25% van het huidige Europese gebruik van biomassa (CE Delft, 2020). Voor de opslag hiervan is bijna 800 ha nodig. Daarnaast zullen de nieuwe ketens (bestaande uit o.a. vergassingsinstallaties en een FT-fabriek) ruim 1100 ha innemen. Een deel van de huidige assets, voornamelijk het chemicaliën productiecluster, kan hergebruikt worden in dit scenario.

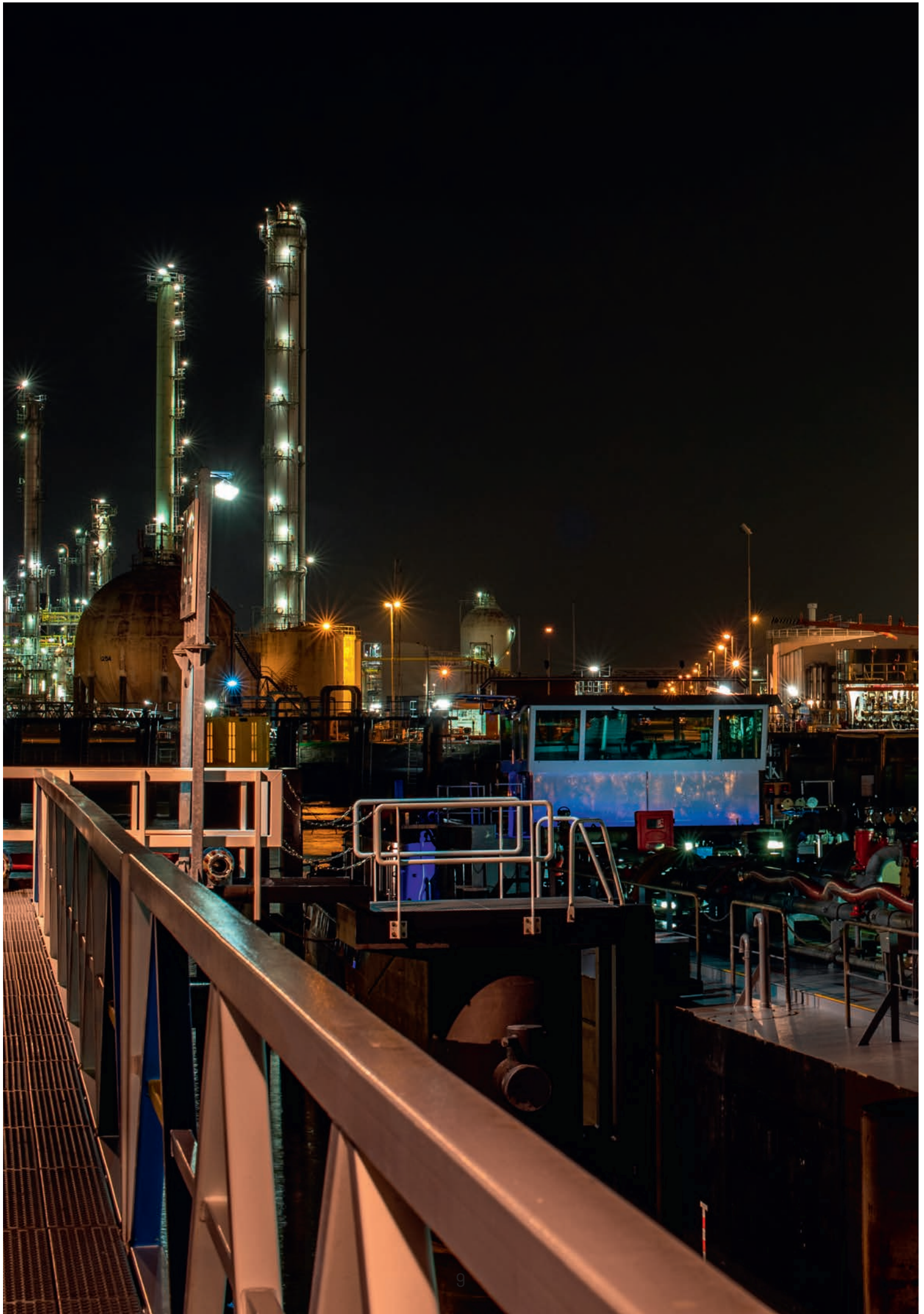
In het SYN-scenario is de hoeveelheid biomassa (590 PJ, 33 Mt) beperkter dan in het BIO scenario, maar neemt de vraag naar waterstof sterk toe. Deze waterstof wordt zowel geïmporteerd als geproduceerd, waarbij voor de productie veel elektriciteit (782 PJ ~ 48 GW wind op zee) nodig is. De hiertoe benodigde ruimte is veel minder dan 300 ha. De nieuwe conversieketens zullen bijna 700 ha gaan innemen. Ruim 600 ha van de huidige assets, nl. aansluitend op de FT synthese, kan hergebruikt worden in dit scenario. Het grootste verschil met het BIO-scenario is het ruimtegebruik dat in het SYN-scenario is toegekend aan DAC (>3300 ha). DAC zorgt voor 67 Mt aan CO₂ waarmee de technologie het merendeel van de benodigde koolstof in dit scenario produceert. Wanneer alle ruimte binnen scope en de huidige vrije ruimte in 2050 beschikbaar komt voor de nieuwe ketens, dan zal er volgens deze inschatting een tekort aan ruimte zijn van bijna 2500 ha. Dit tekort en de grote onzekerheidsmarge volgen vooral uit het aandeel DAC in dit scenario.

In het CYC scenario is de hoeveelheid biomassa (538 PJ, 30 Mt) iets minder dan in het SYN-scenario en is de rol van waterstof vrijwel gelijk aan die in het BIO-scenario. Het overgrote deel van de energie wordt in dit scenario geleverd door afval (ruim 1800 PJ, 164 Mt). Het is zeer de vraag of dit soort hoeveelheden afval beschikbaar komen. Ter vergelijking; in Nederland wordt nu ruim 7 Mt aan afval verbrand in alle Nederlandse AVI's gezamenlijk. De opslag van afval als grondstof (ruim 1600 ha) vraagt de meeste ruimte. De nieuwe ketens zullen zo'n 1100 ha gaan innemen. Wanneer alle ruimte binnen scope en de huidige vrije

ruimte in 2050 beschikbaar komt voor de nieuwe ketens, dan zal er volgens deze inschatting een tekort aan ruimte zijn van ruim 900 ha. Dit tekort is voornamelijk toe te schrijven aan de benodigde opslagcapaciteit voor afval. Wanneer afval in een andere vorm (met hogere energiedichtheid, bijvoorbeeld als pyrolyse-olie) geïmporteerd kan worden, kan dit veel ruimte schelen in het havengebied.

De gepresenteerde eindbeelden voor de scenario's in context van een coherent veranderingsproces tot 2050 geven nog weinig houvast voor de transitieperiode tussen nu en 2050. Deze transitieperiode is bepalend voor de uitvoerbaarheid van de implementatie van de nieuwe ketens in het havengebied. Ondanks het feit dat voor de verschillende scenario's de uitdaging in het meest optimistische geval van een coherent veranderingsproces al groot is, lijkt een transitie naar nieuwe brandstoffen en chemicaliën al bij voorbaat onmogelijk binnen de huidige haven te passen wanneer de transformatie incoherent zal verlopen. De incoherente overgangen van 2020 naar 2050, waarbij het huidige ruimtegebruik voor de productie en opslag van brandstoffen en chemicaliën niet beschikbaar komt voor de nieuwe ketens, laten zien dat er één of zelfs twee extra gebieden ter grootte van de Tweede Maasvlakte aan ruimte nodig zullen zijn.

De inzichten uit deze verkennende studie kunnen verder worden verdiept door nader onderzoek op een aantal punten. Deze punten liggen op het terrein van aanvoerstromen, ketenontwikkeling, vraagontwikkeling, ketenelementen, systeemafbakening, coherente aanpak en ontwikkelpaden in de tijd. Logische eerste vervolgstappen zouden zijn om aanvoervolumes en vraag naar eindproducten verder te concretiseren, de onzekerheidsmarges te verkleinen door het betrekken van technology experts en nadere duiding en concretisering van een coherente aanpak te ontwikkelen.



Inleiding

Nederland heeft zich gecommitteerd aan de afspraken van het klimaatakkoord van Parijs om de klimaatverandering te beperken. Daarvoor is een zeer drastische vermindering van CO₂-uitstoot nodig. De hiervoor benodigde energietransitie vraagt aanpassingen van zowel overheid als marktpartijen om naar een toekomstbestendige samenleving te komen.

Het Havenbedrijf Rotterdam werkt samen met het bedrijfsleven in de haven en de overheid aan een toekomstbestendige haven. Een haven waar bedrijven nu en in de toekomst kunnen floreren en zorgen voor inkomsten en banen. En dat alles met een zo minimaal mogelijke impact op het klimaat en de natuur.

Om dit te realiseren moet de haven ruimte beschikbaar maken om haar waarde te blijven behouden tijdens de energietransitie en bedrijvigheid opschalingskansen te bieden. De ruimte in de Rotterdamse haven wordt echter schaarser door uitgifte en uitgiftevraag. Daarnaast hebben de huidige petrochemische bedrijven ruimte nodig om te kunnen verduurzamen en vraagt nieuwe clustervorming (denk aan productie, import en opslag van E-fuels en aanlanding windenergie) om veel ruimte, die nu niet beschikbaar is.

Deze ruimtelijke uitdaging vraagt om een geïnformeerde strategische aanpak voor nu en in de toekomst. Om tot een dergelijke geïnformeerde strategische aanpak te komen heeft het havenbedrijf behoefte aan een verkennend onderzoek naar het ruimtevraagstuk dat ontstaat rondom de energietransitie. Smart-Port heeft daartoe TNO gevraagd om onderstaande vraag te beantwoorden:

Wat zijn de ruimtelijke gevolgen van de energietransitie in de Rotterdamse haven in de komende 30 jaar?

Met andere woorden: hoe gaat de ruimte(vraag) zich ontwikkelen en waar is behoefte aan? Om deze gevolgen te duiden zijn eerst door Clingendael International Energy Program (CIEP) interviews met bedrijven gehouden, gericht op te verwachten ontwikkelingen als gevolg van de energietransitie, waarbij de focus ligt op het huidige petrochemische cluster en nieuwe clusters rondom brand- en grondstoffen.

Deze interviews vormen een startpunt voor de ontwikkeling van een model dat een inzichtelijk beeld geeft van de verandering in de vraag naar hectares (voor greenfield, brownfield en infrastructuur) door de tijd (2020, 2030, 2040, 2050). Deze stap is een eerste verkenning van de mogelijke toekomstige ruimtevraag. In vervolgonderzoek zullen de resultaten verder geconcretiseerd worden.

Bevindingen vanuit het CIEP onderzoek

Op basis van het door CIEP uitgevoerde onderzoek heeft CIEP ons in de context van een 'ruimte-verkenning' het volgende meegegeven:

- De CIEP inzichten hebben betrekking op de periode tot 2040 (interviews gehouden gericht op 5, 10, en 20 jaar vanaf heden).
- De interpretatie van CIEP is dat het zinvol is op drie dimensies te gaan variëren, bij het maken van rekenommen die als doel hebben ruimtelijke implicaties te verkennen:
 1. Onzekerheidsdimensie 1: technologische paden
De Wuppertalscenario's voor technologie (Wuppertal Institut, 2016) vormen een goede basis voor mogelijke technologische paden, omdat deze grosso-modo het spectrum van technologische onzekerheden voldoende weergeven.
 2. Onzekerheidsdimensie 2: (in)coherentie van veranderproces in de haven
 - 'coherent' stelt gevestigde partijen, samen met partijen in hun omgeving, in staat gewenste veranderingen door te maken, waarmee een relatief groot deel van de vernieuwing op hun bestaande bedrijfsterreinen (geïntegreerd met anderen, meer efficiënte uitwisseling van stromen) plaats zou vinden, en er minder beslag op nieuwe ruimte gedaan hoeft te worden;
 - 'incoherent' impliceert dat bestaande partijen zich niet of moeilijk aan (kunnen) passen en dat de nieuwe activiteiten daardoor in veel mindere mate op hun terreinen plaatsvinden en in meerdere mate op nieuwe terreinen zullen moeten plaatsvinden; tevens is er minder efficiënte uitwisseling van stromen.
 3. Onzekerheidsdimensie 3: strategische economieën versus onbelemmerde wereldhandel in internationale handel en markten
 - Strategische economieën leiden tot bewust beleid om een substantieel deel van waardeketens in het cluster te hebben ten faveure van de Europese economie en industrieën, met meer verwerkende industrie en waarschijnlijk meer ruimtegebruik voor activiteiten in het cluster;
 - Onbelemmerde wereldhandel laat waardeketens meer 'simpele economics' volgen met als risico dat een substantieel deel van waardeketens elders terecht komt (bijv. daar waar zon/wind-elektriciteit goedkoper is).

Bovenstaande bevindingen van CIEP hebben we zoveel mogelijk als leidraad gebruikt, echter op een aantal punten hebben we gekozen om een eigen interpretatie van het voorgestelde scenarioraamwerk te gebruiken.

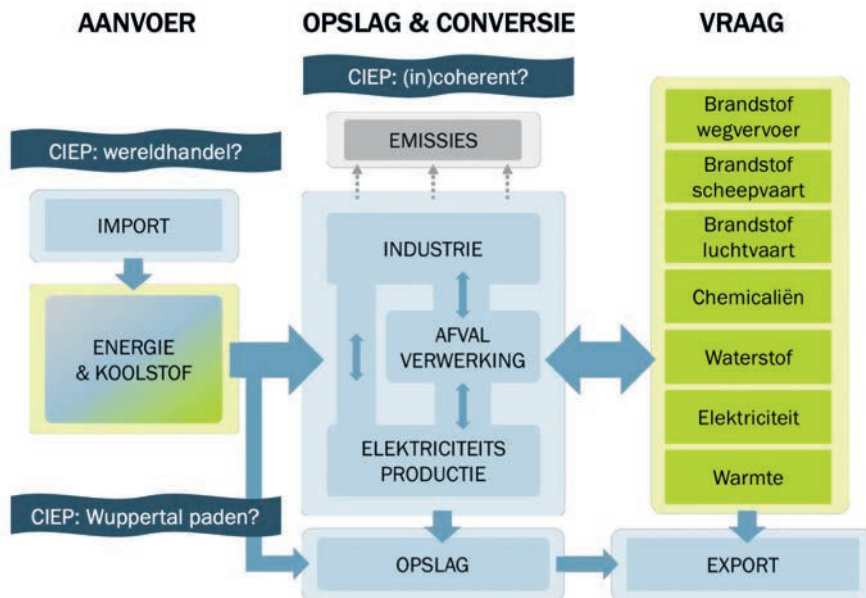
Scope, aannames en uitgangspunten

Omdat dit onderzoek een eerste verkenning is van de mogelijke toekomstige ruimtevraag voor de ontwikkeling van nieuwe brandstoffen en chemicaliën in het havengebied, is er voor gekozen om enkele onderwerpen buiten de scope van het onderzoek te houden. Dit betreft:

- Milieuruimte
- Veiligheidscontouren
- Geluidsruimte
- Sanering
- Overschotten aan restwarmte (bv. door electrolyzers)

Zoals in de inleiding aangegeven, ligt de focus op het huidige petrochemische cluster en nieuwe clusters rondom brand- en grondstoffen. De omvang van andere sectoren (dat wil zeggen de in hoofdstuk 6 aangegeven 'ruimte buiten scope') wordt constant verondersteld. Er wordt wel rekening gehouden met aanvullende ruimtebehoefte buiten de ontwikkeling van hernieuwbare brandstoffen en chemicaliën, zoals mogelijke ontwikkeling van andere nieuwe clusters. Hiervoor is een reservering van 500 hectare (ha) meegenomen in de analyse.

Het door ons gebruikte scenarioraamwerk is gebaseerd op de bestaande keten voor Rotterdam. Figuur 1 geeft de bestaande Rotterdamse keten weer, met onderscheid naar de aanvoer, opslag & conversie en de achterliggende vraag naar producten. Tevens wordt weergegeven waar de drie belangrijkste onzekerheidsdimensies van CIEP in het ketenmodel aangrijpen. Voor de verdere uitwerking van de ruimtelijke impact van toekomstige mogelijkheden voor ketenontwikkeling in Rotterdam is uitgegaan van onzekerheid met betrekking tot de ontwikkeling van internationale markten voor grondstoffen, de Wuppertal-paden als conceptualisatie van de technische onzekerheden en de (in)coherentie in integrale ketenontwikkeling.



Figuur 1: Globale ketenstructuur van het energiesysteem in Rotterdam met de belangrijkste onzekerheden volgens de analyse van CIEP.

Daarbij hebben we, voor de narratief van deze analyse, het Wuppertal CYC scenario opgesplitst in twee losse (SYN (synthetische brandstoffen) en CYC (gebaseerd op afval)) scenario's. Het onderliggende ketenmodel is feitelijk nog verder uitgesplitst in ongeveer een tiental deelketens.

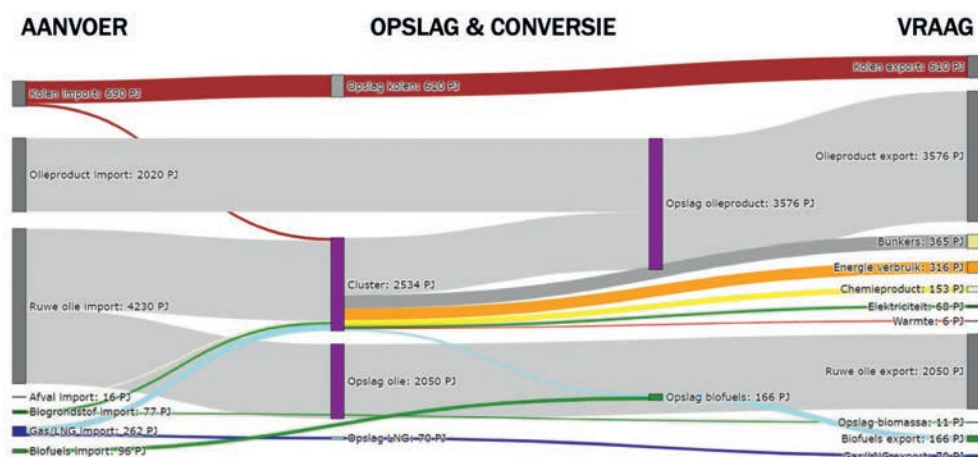
In alle scenario's gaan we uit van eenzelfde vraag naar grondstoffen, brandstoffen en chemicaliën en eenzelfde verhouding van die producten die ofwel via zee of via land de haven verlaten. De vraagontwikkeling is schetsmatig en opgesteld op basis van huidige beelden van de verdere ontwikkeling van vraag naar hernieuwbare brandstoffen en chemicaliën in Nederland en omliggende landen.

Daarnaast hebben we de internationale dimensie in aanvoer beperkt meegenomen waar het gaat om de beschikbaarheid van grondstoffen. Voor deze eerste beelden is uitgegaan van ruime beschikbaarheid van biomassa, elektriciteit en afval. Aannemelijker perspectieven op deze beschikbaarheid zullen naar onze verwachting lager liggen, waarmee een aannemelijk ruimtebeslag ook lager uit zal vallen. Voor deze eerste beeldvorming hebben we er echter voor gekozen om inzichtelijk te maken wat er nodig is voor een realistische ontwikkeling van vraag naar brandstoffen en chemicaliën in het achterland.

Het is dus van belang om op te merken dat de beelden die in deze rapportage zijn ontwikkeld voor de uithoeken van de verschillende ketenscenario's naar energiedrager zijn gebaseerd op een realistische inschatting van de vraag naar hernieuwbare alternatieven in 2050 en overvloedige beschikbaarheid van de ketengrondstoffen biomassa, elektriciteit, CO₂ en afval. Ontwikkelingen op de (inter)nationale markten, voor wat betreft de vraag in Nederland/achterland en internationale ontwikkelingen rondom aanbod van de grondstoffen, vormen een onzekerheid met grote impact op de resultaten.

Huidige situatie en toekomstige vraag

De transitiepaden en scenario's zijn uitgerekend aan de hand van een vastgestelde vraag naar de producten die binnen de scope van deze studie liggen. Deze producten bestaan uit grondstoffen en/of energiedragers, brandstoffen en chemicaliën. Om een inschatting te kunnen maken van de toekomstige vraag is eerst een beeld opgesteld van de huidige stromen die door de haven gaan, gebaseerd op een eerdere analyse (Melieste, 2019), zie Figuur 2. De huidige stroom bestaat voornamelijk uit fossiele ruwe olie en olieproducten, een deel kolen en LNG, en een klein deel aan biomassa, biofuels en afval. Een groot deel van de aanvoer wordt direct verhandeld en doorgevoerd, terwijl ongeveer een derde van de aanvoer via het industriële cluster in de haven wordt omgezet in andere producten (olieproducten en chemicaliën). De totale vraag in 2018 naar producten vanuit de haven heeft een energie-inhoud van ruim 7000 PJ. In energie-equivalenten bestaat ruim de helft van deze vraag uit fossiele brandstoffen (3941 PJ), terwijl de doorvoer van ruwe olie (2050 PJ) als grondstof voor andere industrieclusters binnen Noordwest Europa op een goede twee plek komt. In de haven wordt 153 PJ aan chemicaliën geproduceerd.



Figuur 2: Sankey diagram voor de huidige energiestromen in de Rotterdamse haven.

Om een toekomstig energiesysteem met netto-nul emissies te behalen, zijn we ervan uitgegaan dat halverwege deze eeuw fossiele energiedragers geen onderdeel meer uitmaken van de aanvoerstromen naar de haven. Er wordt dus ook niet uitgegaan van toepassing van CCS richting en na 2050. Om de toekomstige vraag naar grond- en brandstoffen en chemicaliën in te vullen, zullen in 2050 hernieuwbare varianten de fossiele stromen vervangen moeten hebben. We hebben aangenomen dat de vraag richting 2050 sterk afneemt tot circa 30% van de huidige vraag (zie Tabel 1). De grootste daling komt doordat de vraag naar motorbrandstoffen voor wegverkeer sterk zal gaan afnemen door toenemend elektrisch rijden. Hoe snel dit proces zal gaan, is lastig in te schatten, maar richting 2050 zal de vraag naar benzine en diesel voor auto's vrijwel stilvallen. De rol voor diesel voor zwaarder wegtransport zal waarschijnlijk

langer blijven, hoewel daar ook steeds meer over alternatieven wordt nagedacht. Vliegtuig- en scheepsbrandstof zullen vermoedelijk voorlopig nog wel blijven, omdat voor die toepassingen elektrificatie minder voor de hand ligt. De vraag naar chemicaliën zal blijven en mogelijk iets groeien in de haven, hoewel de algemene trend in productie in Europa de afgelopen jaren constant tot licht dalend is.

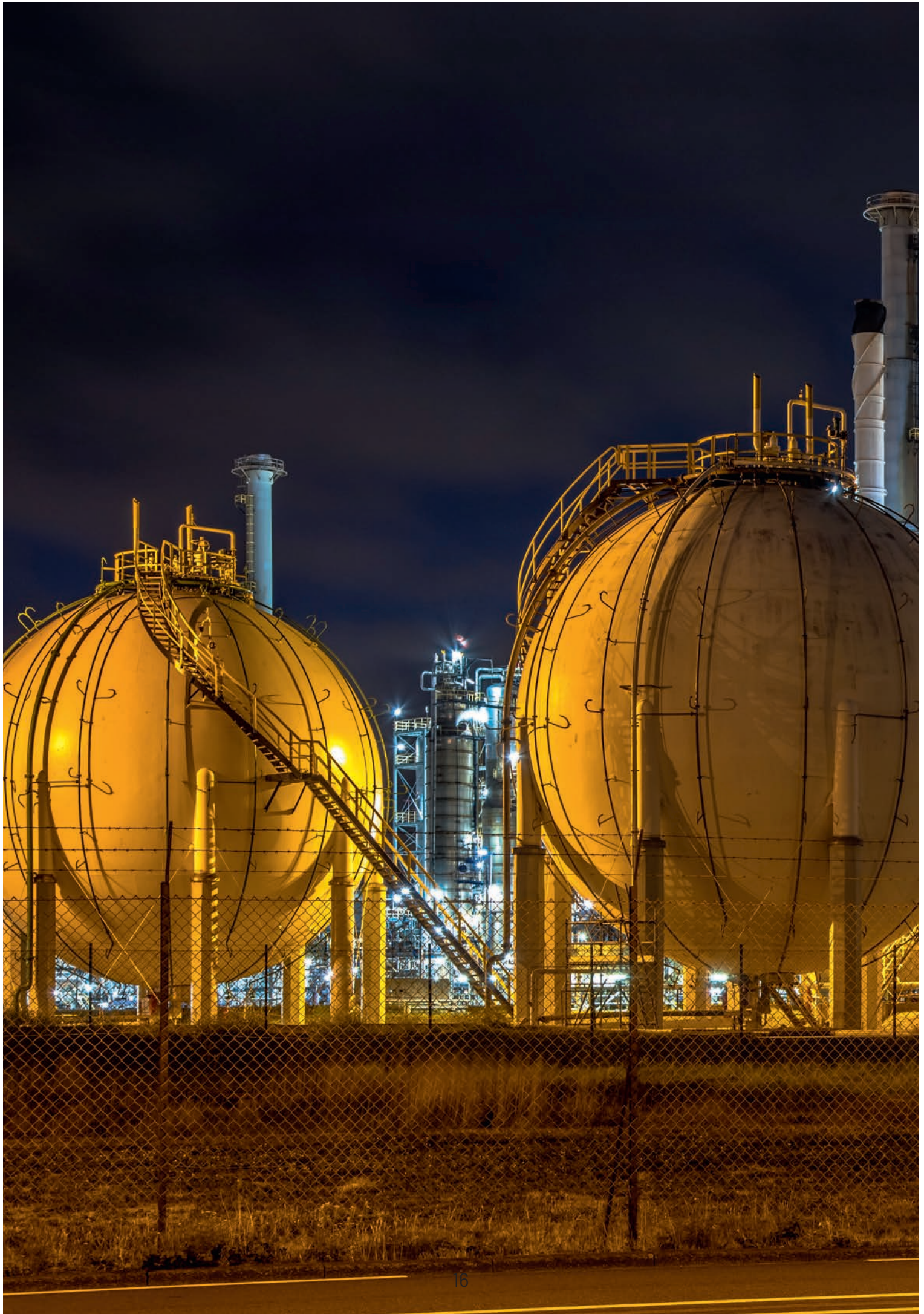
Tabel 1: Toekomstige vraag naar grond- en brandstoffen en chemicaliën

		2020	2030	2040	2050	2050
		(PJ)	(PJ)	(PJ)	(PJ)	(Mton)
Handel & Doorvoer	Ruwe olie	2050	1400	700	0	0
	Gas/LNG	70	70	50	0	0
	Kolen	610	500	250	0	0
	Fossiele brandstoffen	2020	1400	500	0	0
	Renewable brandstoffen	96	120	200	400	9
	Renewable grondstof	11	80	400	600	>4
Conversie & Productie	Fossiele chemicaliën	153	140	50	0	0
	Fossiele brandstoffen	1556	1200	500	0	0
	Fossiele bunkerfuels	365	355	245	0	0
	Renewable chemicaliën	0	20	120	200	4
	Renewable brandstoffen	70	100	150	400	9
	Renewable bunkerfuels	0	10	120	365	8
	Anders (elektriciteit/warmte)	74	-	-	-	-
	Totalen	7075	5395	3285	1965	>34

Wij gaan voor deze analyse uit van:

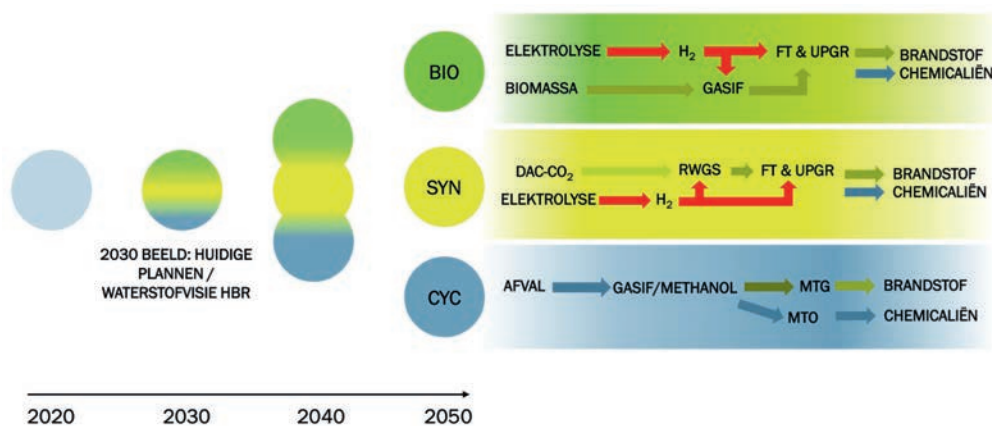
- Een dalende vraag naar brandstoffen tot 1165 PJ in 2050 door elektrificatie (o.a. van het wegverkeer). Dit is circa 30% van de huidige vraag. Hieronder valt ook de vraag naar bunkerfuels voor scheepvaart (gelijkblijvend met jaarlijks 365 PJ) en luchtvaart (deze laatste staat niet apart aangegeven in Tabel 1 en valt onder fuels). Van deze 1165 PJ wordt 400 PJ geïmporteerd en doorgevoerd en wordt 765 PJ aan brandstoffen in de haven geproduceerd.
- De doorvoer van (fossiele en hernieuwbare) grondstof voor gebruik in andere industriële clusters in Europa daalt evenredig (tot 600 PJ) en hebben we gelijkgesteld aan circa 30% van de huidige ruwe oliedoorvoer. In 2050 zal deze 600 PJ worden ingevuld met uitsluitend hernieuwbare grondstof.
- We hebben de productie van chemicaliën (ethyleen, aromaten, etc.) in de haven wel laten groeien (circa 1% per jaar) van 153 naar 200 PJ. Hierbij gaan we er vanuit dat het chemiecluster in de haven goed kan worden voorzien van hernieuwbare grondstoffen en daardoor een sterke concurrentiepositie kan behouden.

Deze getallen komen goed overeen met de waterstofvisie van het Havenbedrijf Rotterdam, waarin in een maximaal scenario (bij weinig biomassa) een toekomstige vraag (gebruik in haven en doorvoer naar achterland) naar H₂ wordt vastgesteld op 2400 PJ (Havenbedrijf Rotterdam, 2020). Onze inschatting is dat doorvoer van fuels en grondstof (incl. H₂) in combinatie met grondstof (waaronder ook H₂) voor productie van hernieuwbare brandstoffen en chemicaliën in de haven gezamenlijk rond deze 2400 PJ aan H₂ equivalenten uitkomt. De totale vraag (1165 PJ + 600 PJ + 200 PJ = 1965 PJ) komt iets lager uit wegens conversieverliezen om van H₂ tot hernieuwbare brandstoffen en chemicaliën te komen bij productie in de haven.



Scenario's en ketens

Hoewel de plannen voor 2030 al steeds meer vorm krijgen, is het beeld voor 2050 nog erg onzeker. We hebben drie scenario's uitgewerkt om meer inzicht te krijgen in de mogelijke ketenontwikkelingen, het bijbehorende ruimtegebruik en de onzekerheden hierbij richting 2050: een BIO, SYN, en CYC scenario (zie Figuur 3). Deze scenario's gaan verder vanuit een min of meer gemeenschappelijk beeld in 2030, dat gebaseerd is op de huidige plannen (bijvoorbeeld de waterstofvisie HbR) en bestaande nieuwe routes (zoals biofuels productie). Hoewel CO₂-emissiereductie een belangrijke drijfveer vormt voor de komende transitie is in deze scenario's vooral gekeken naar de duurzaamheid van de producten en niet naar de emissies in de haven zelf. Technologieën die een belangrijke rol zullen spelen om de emissies in de haven zelf te beperken, zoals blauwe waterstof en CO₂-afvang en -opslag, zijn niet meegenomen in deze analyse. De impact op de ruimte van deze technologieën lijkt ook beperkt ten opzichte van die van nieuwe ketenontwikkelingen, omdat de afvanginstallaties en CO₂-infrastructuur in de meeste gevallen worden ingepast op de huidige bedrijventerreinen.



Figuur 3: Overzicht van scenario's. (FT = Fischer-Tropsch synthese, UPGR = opwaarderen en zuiveren, GASIF = vergassingsproces, DAC = direct air capture, RWGS = reverse water gas shift proces, METHANOL = methanol productie, MTG = methanol naar brandstoffen (gasoline), MTO = methanol naar olefines)

De drie scenario-uitdooien (in termen van energiedragers) kunnen als volgt worden gekarakteriseerd:

- **Scenario BIO (biomassa)**

In het BIO-scenario gaan we uit van de beschikbaarheid van veel duurzame biomassa (vooral in de vorm van houtige biomassa) tot maximaal de benodigde hoeveelheid voor invulling van de vraag als geschetst in het voorgaande hoofdstuk. Er is dan voldoende biomassa beschikbaar om tot 88% van de vraag naar grondstoffen, brandstoffen en chemicaliën te voorzien. De waterstofroute kan daardoor tot een minimum beperkt worden. Afval als grondstof voor de productie van brandstoffen en chemicaliën wordt helemaal niet gebruikt in dit scenario. Op basis van de waterstofvisie HbR zal in een scenario met veel biomassabeschikbaarheid nog steeds circa 520 PJ aan waterstof nodig zijn in Nederland, waarbij wordt aangenomen dat Rotterdam hiervan ongeveer de helft (260 PJ) levert. In de huidige

plannen voor 2030 wordt gerept over ruim 2 GW aan elektrolysecapaciteit. Deze capaciteit zal in dit scenario slechts groeien tot 4 GW in 2050. Via elektrolyse wordt dan circa 80 PJ aan H₂ geproduceerd, waarbij nog meer dan 180 PJ aan waterstof extra wordt geïmporteerd.

- **Scenario SYN (synthetische brandstoffen)**

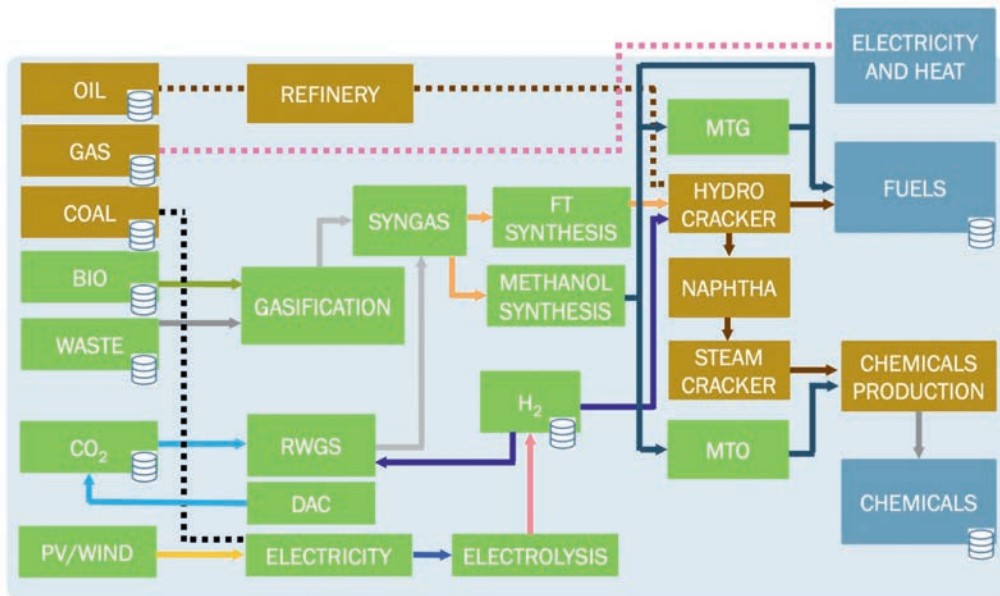
In het SYN-scenario gaan we uit van ruime beschikbaarheid van veel groene waterstof en de succesvolle opschaling van CO₂ productie via direct air capture (DAC) voor invulling van de vraag als geschetst in het voorgaande hoofdstuk. In de Waterstofvisie HbR wordt gesproken over een potentieel van 18-24 GW aan wind-op-zee dat in Rotterdam zou kunnen aanlanden in 2050. Hierop gebaseerd hebben we gerekend met een maximale elektrolysecapaciteit van 22 GW in de haven in 2050. Hiermee wordt jaarlijks 470 PJ (4.0 Mt) aan H₂ geproduceerd en samen met de import van ruim 1100 PJ (9.3 Mt) H₂ komt de meeste energie die nodig is om de vraag naar grondstoffen, brandstoffen en chemicaliën in te vullen vanuit groene waterstof. Omdat in de meeste producten koolstof nodig is, wordt het merendeel van deze H₂ gebruikt om CO₂ om te zetten in synthetische brandstoffen en chemicaliën. Deze CO₂ (67 Mt) komt in dit scenario vanuit direct air capture. Een deel van de H₂ (480 PJ, 4.0 Mt) wordt doorgevoerd als grondstof voor gebruik elders. Het aandeel biomassa in dit scenario is in 2050 nog 20% (circa 600 PJ) omdat we er vanuit zijn gegaan dat de huidige bio-ketens minimaal doorgroeien.

- **Scenario CYC (cyclisch)**

In het CYC-scenario gaan we uit van ruime beschikbaarheid van veel (huishoudelijk) afval voor invulling van de vraag als geschetst in het voorgaande hoofdstuk. Zowel voor biomassa als waterstof wordt uitgegaan van een beperkte groei. Net als in het SYN-scenario zal slechts 20% van de energiebehoefte worden ingevuld met biomassa. Waterstof zal, net als in het BIO-scenario, een minimale rol toebedeeld krijgen (260 PJ) met bijna 4 GW aan geïnstalleerd elektrolyse vermogen in 2050. De resterende energie- en koolstofbehoefte wordt ingevuld met import van afval (67% in 2050) in dit scenario.

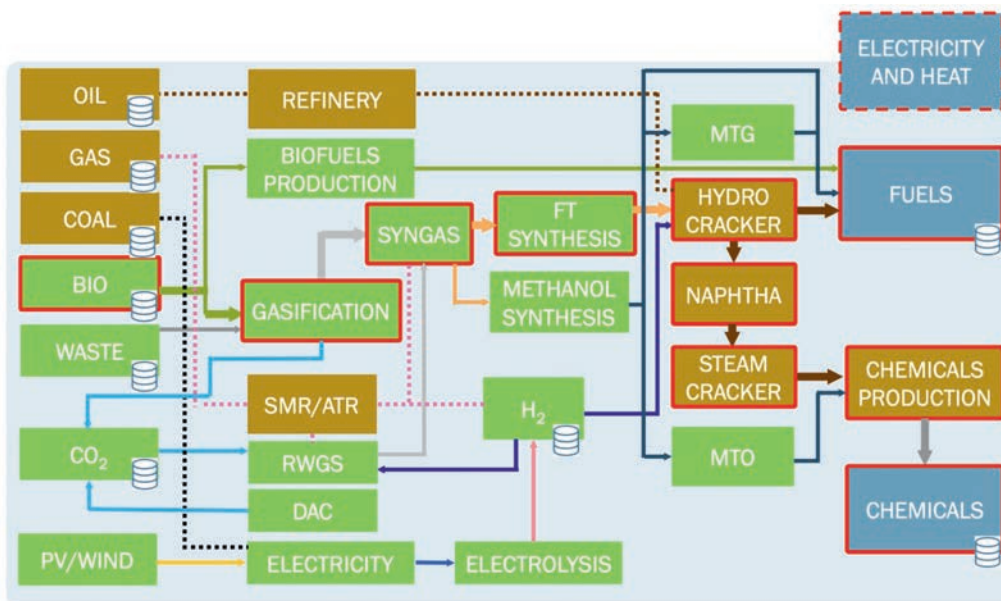
De invulling van deze ketens wordt hieronder verder toegelicht aan de hand van blokschema's. In Figuur 4 wordt het blokschema voor de huidige en deels toekomstige situatie in Rotterdam weergegeven. Geheel links in het schema staan alle bronnen weergegeven met in bruin de fossiele bronnen en in groen de hernieuwbare grondstoffen. De blokken in het midden geven specifieke technologieën weer waarmee de grondstoffen omgezet kunnen worden in de producten. Rechts in het blokschema staan in blauw de producten aangegeven, waarbij brandstoffen (fuels) en chemicaliën (chemicals) bepalend zijn voor de benodigde hoeveelheid grondstoffen. Indien geproduceerde elektriciteit en/of warmte niet in het cluster gebruikt kunnen worden, worden deze beschouwd als bijproducten. Omdat er geen vraag naar elektriciteit en warmte is gedefinieerd staan in de blokschema's (Figuur 5-7) deze dragers met een stippellijn omlijnd. Vrijwel alle brandstoffen en chemicaliën vinden nu hun oorsprong in de raffinaderijen, die enerzijds brandstoffen produceren en anderzijds nafta als grondstof voor de stoomkrakers en chemische industrie. Deze blokken zijn in bruin weergegeven en bestaan al in het huidige cluster. Sommige van deze assets zouden ook in een duurzaam toekomstbeeld een rol kunnen spelen, waardoor een zekere mate van hergebruik van en integratie in het huidige industriële cluster mogelijk is.

Afhankelijk van het scenario worden sommige blokken in het midden wel of niet gebruikt en zijn de grondstoffen links in meer of mindere mate beschikbaar. De hoofdroute die per scenario's gevolgd is, is weergegeven in de figuren 5-7.



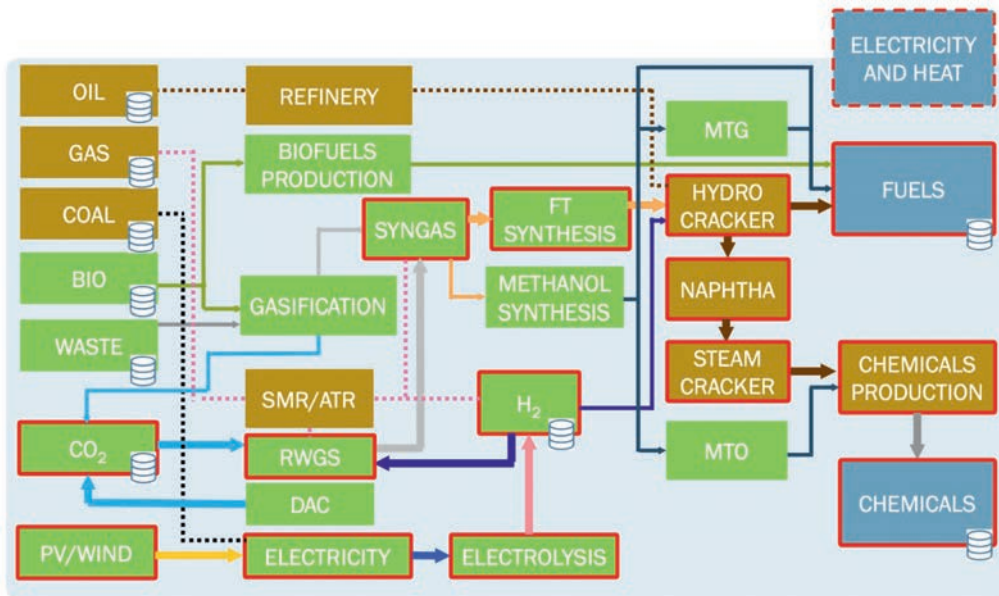
Figuur 4: In deze studie gemodelleerde ketens in de Rotterdamse haven

In Figuur 5 is de hoofdroute uitgelicht die is gevolgd in het BIO scenario. Houtige biomassa wordt geïmporteerd en vergast tot syngas. Het syngas wordt vervolgens met het Fischer-Tropsch (FT) proces omgezet tot syncrude. In de hydro cracker wordt het ruwe tussenproduct (syncrude) omgezet in brandstoffen en nafta. Dit laatste dient als grondstof voor de nafta/stoomkrakers en de vervolgstappen in de chemische industrie om alle chemicaliën te produceren.



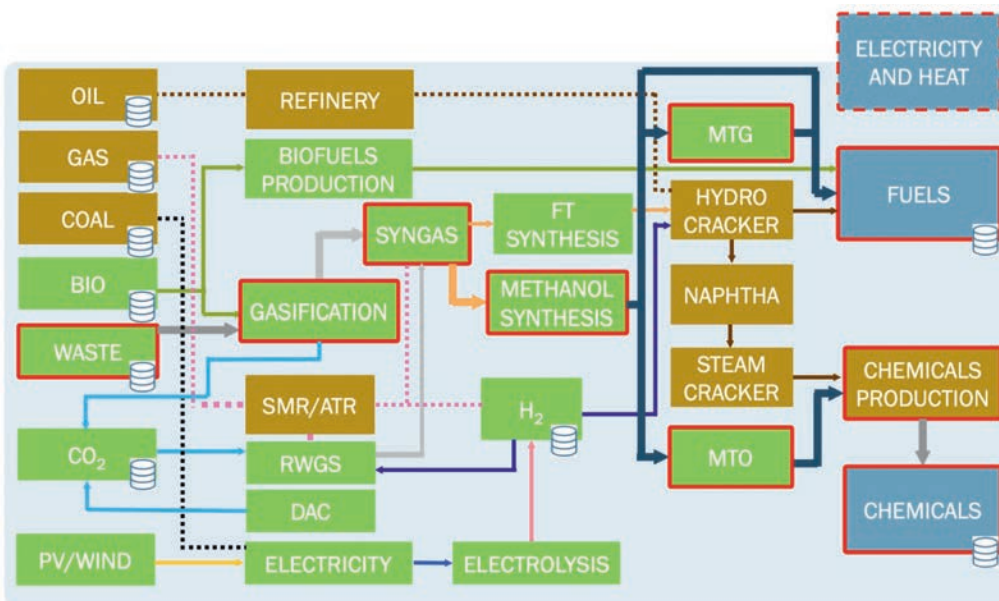
Figuur 5: Keten BIO-scenario

In Figuur 6 staan de hoofdroutes van het SYN scenario aangegeven in rood. Naast import van waterstof (niet expliciet weergegeven) wordt hernieuwbare elektriciteit (vooral vanuit wind-op-zee) gebruikt om water om te zetten in waterstof via elektrolyse. Deze waterstof wordt gecombineerd met CO₂ (vanuit DAC) in het reverse water gas shift proces (RWGS) en omgezet tot syngas. Het syngas wordt ingezet in de FT synthese en volgt vanaf daar dezelfde route als in het BIO scenario.



Figuur 6: Keten SYN-scenario

In het CYC-scenario wordt geen biomassa maar afval vergast om het syngas te produceren (Figuur 7). Het syngas gaat niet via FT synthese richting de producten, maar wordt omgezet in methanol. Deze methanol wordt vervolgens omgezet in brandstoffen via het methanol-to-gasoline (MTG) proces of in chemicaliën via methanol-to-olefins (MTO) en chemicaliën productie.

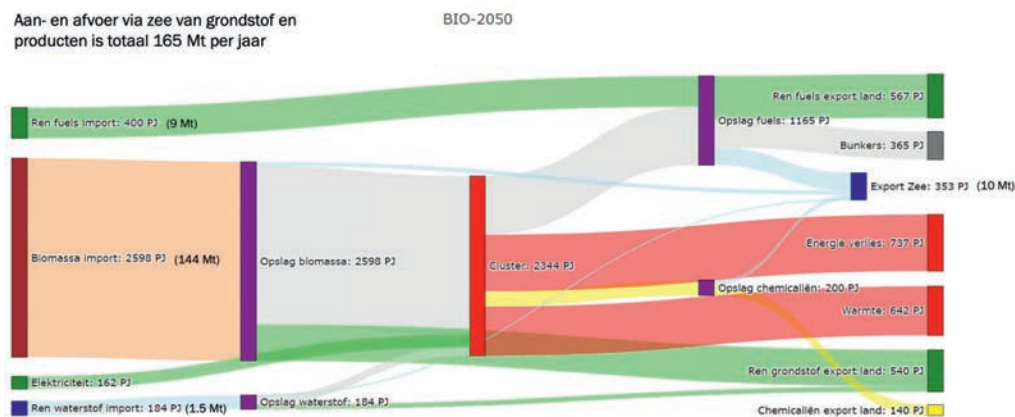


Figuur 7: Keten CYC-scenario

Omvang ketenstromen

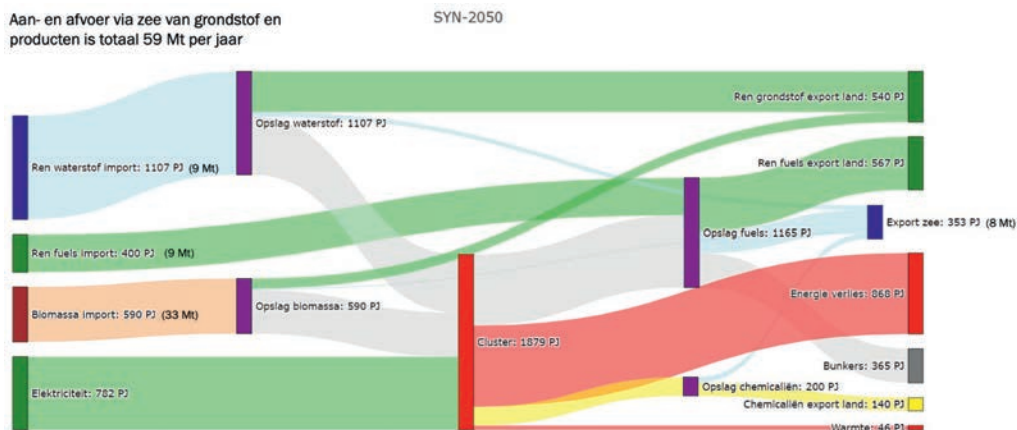
Zoals in hoofdstuk 2 geschetst, neemt de vraag naar brandstoffen in 2050 af in alle scenario's. Het is daarnaast onzeker of de huidige balans tussen import en export van zowel grondstoffen als producten blijft bestaan, hoeveel er in de haven geproduceerd wordt en hoe de producten vervolgens hun weg vinden (over land of zee) om invulling te geven aan de eveneens onzekere vraag naar grondstoffen en producten. In alle scenario's gaan we uit van eenzelfde vraag naar grondstoffen, brandstoffen en chemicaliën en eenzelfde verhouding van die producten die ofwel via zee of via land de haven verlaten. In een spreadsheet model zijn verschillende ketens waarin gebruik wordt gemaakt van bepaalde opslag- en conversie-technologieën doorgerekend om vanuit hernieuwbare grondstoffen (afhankelijk van de scenario's) in de vraag naar producten te kunnen voorzien. De verwerkingscapaciteit van alle ketenelementen (technologie-opties) bepaalt vervolgens de hoeveelheid vereiste ruimte (zie Appendix 1 voor de aannames). In de Sankey-diagrammen hieronder staan alle energie- en/of materiaalstromen die door de haven gaan per scenario voor het jaar 2050 weergegeven. Alle export via zee is samengevoegd in een enkele stroom (blauwe blok rechts). Deze hoeveelheid in combinatie met de totale hoeveelheid aan geïmporteerd materiaal (links in het diagram) geeft de totale aan- en afvoer via zee weer. De hoeveelheid warmte die nog gebruikt kan worden staat apart aangegeven per scenario, terwijl alle energieverliezen in een aparte stroom staan weergegeven (beiden in rood).

In het BIO-scenario (Figuur 8) valt op dat er een enorme hoeveelheid biomassa (~2600 PJ, 144 Mt) nodig is om in de vraag te kunnen voorzien. Deze hoeveelheid komt overeen met meer dan zeven maal het huidige en toekomstige biomassa productiepotentieel in Nederland of 25% van het huidige Europese gebruik van biomassa (zie (CE Delft, 2020)). Het is dus zeer de vraag of deze hoeveelheid duurzame biomassa beschikbaar komt voor de haven. De conversieverliezen om vanuit biomassa tot brandstoffen en chemicaliën te komen zijn groter dan die bij conventionele processen vanuit fossiele grondstoffen. Dit is te zien aan het grote aandeel rode stromen, waarbij opgemerkt moet worden dat een aanzienlijk deel van de warmte die geproduceerd wordt nog nuttig besteed zou kunnen worden. Het onderscheid tussen nog nuttig te besteden warmte (hogere temperatuur/stoom) en niet meer te benutten warmteverliezen staat respectievelijk weergegeven in de twee stromen "Warmte" en "Energieverlies".



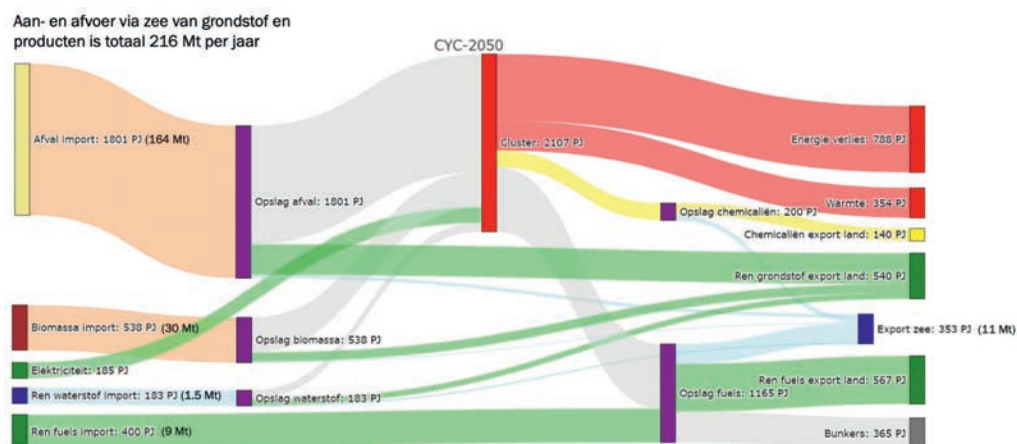
Figuur 8: Sankey-diagram van de energiestromen in het BIO-scenario in 2050

In het SYN-scenario (Figuur 9) is de hoeveelheid biomassa (590 PJ, 33 Mt) beperkter dan in het BIO scenario, maar neemt de vraag naar waterstof sterk toe. Deze waterstof wordt zowel geïmporteerd als geproduceerd, waarbij voor de productie veel elektriciteit (782 PJ ~ 48 GW wind op zee) nodig is. Ook hier zijn de conversieverliezen redelijk groot om vanuit waterstof en CO₂ tot brandstoffen en chemicaliën te komen, hoewel het totaal aan energieverliezen en warmte (rode stromen) wel een stuk minder is dan in de andere scenario's. Dit komt vooral omdat de warmte-opbrengst veel lager is dan in de andere scenario's, omdat zowel DAC als RWGS veel warmte gebruiken.



Figuur 9: Sankey-diagram van de energiestromen in het SYN-scenario in 2050

In het CYC scenario (Figuur 10) is de hoeveelheid biomassa (538 PJ, 30 Mt) iets minder dan in het SYN-scenario en is de rol van waterstof vrijwel gelijk aan die in het BIO-scenario. Het overgrote deel van de energie wordt in dit scenario geleverd door afval (ruim 1800 PJ, 164 Mt). Ter vergelijking; in Nederland wordt nu ruim 7 Mt aan afval verbrand in alle Nederlandse AVI's gezamenlijk en deze hoeveelheid zal naar verwachting zelfs afnemen door zuiniger verbruik en betere scheiding van afvalstromen. Daarom is deze hoeveelheid aan afvalimport een onzekerheid in dit scenario. Ook in dit scenario zijn de conversieverliezen groot om vanuit voornamelijk afval tot brandstoffen en chemicaliën te komen.

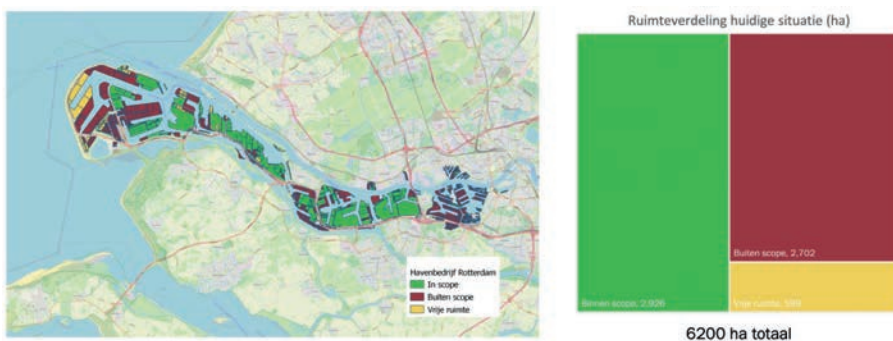


Figuur 10: Sankey-diagram van de energiestromen in het CYC-scenario in 2050

Huidige ruimteverdeling Haven Industrieel Complex (HIC) Rotterdam

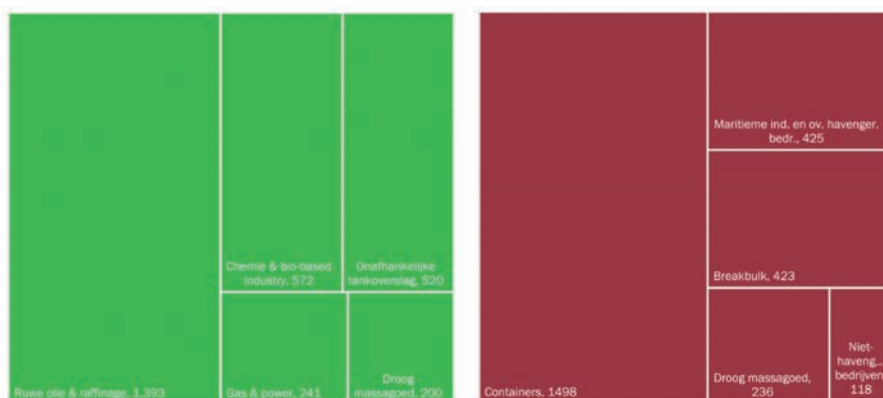
Op basis van gegevens van het Havenbedrijf hebben we een kaart gemaakt met daarin een overzicht van verschillende typen ruimtegebruik (zie Figuur 11):

1. Ruimte binnen scope: dit betreft ruimte die momenteel in gebruik is door bedrijven uit het brandstoffen- en chemiecluster en die mogelijk ingezet kan worden voor de transitie naar nieuwe clusters.
2. Ruimte buiten scope: dit betreft ruimte die momenteel in gebruik is door bedrijvigheid die niet substantieel beïnvloed wordt door de energietransitie. Hierbij kan gedacht worden aan logistieke bedrijvigheid.
3. Vrije ruimte: dit is ruimte waar momenteel nog geen bestemming op ligt en die als zodanig ook ingezet kan worden voor de transitie.



Figuur 11: Verdeling ruimte binnen scope, buiten scope en vrije ruimte (in hectare) over de Rotterdamse haven

Figuur 12 laat de onderverdeling zien van de ruimte binnen en buiten scope. De ruimte voor de centrale leidingstraat van ongeveer 500 ha over een lengte van 40km is hier niet in meegenomen. Wel is ongeveer 5 ha aan aftakkingen daarvan opgenomen in de ruimte buiten scope.

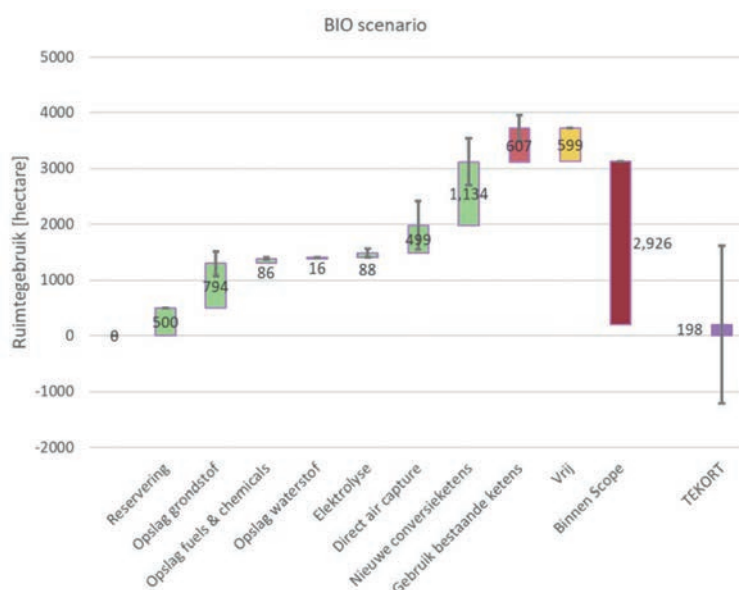


Figuur 12: Onderverdeling ruimte binnen (links) en buiten (rechts) scope in de Haven van Rotterdam in hectaren

Ruimtegebruik in verschillende scenario's voor 2050

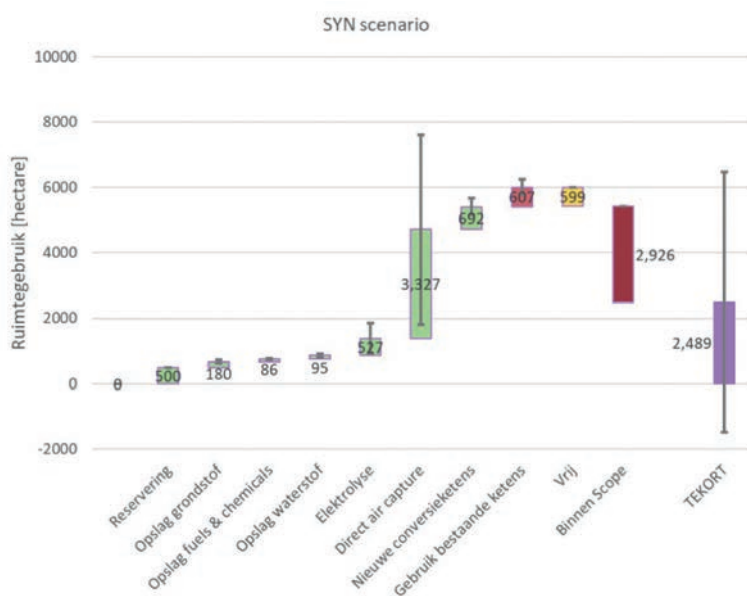
Het ruimtegebruik in de verschillende scenario's hebben we berekend per stap in de keten (zie ook Bijlage 1). De som van deze stappen hebben we afgezet tegen de vrije ruimte en de bestaande ruimte binnen de huidige clusters die aangewend kan worden voor de transitie (ruimte binnen scope), waarna een eventueel tekort of overschot resteert. Dit schetst de situatie die ontstaat als bestaand ruimtegebruik binnen scope wordt afgebouwd tot 2050 (dat wil zeggen in het gunstige geval van een *coherent* veranderingsproces in de haven). De onzekerheid of variabiliteit in het beoogde ruimtebeslag voor bepaalde ketenelementen is weergegeven met een bandbreedte per stap. Alle bandbreedtes bij elkaar opgeteld geeft de totale bandbreedte voor het tekort (en daarmee ook een bepaalde onzekerheid voor deze analyse).

In het BIO-scenario is veel ruimte nodig voor de opslag van biomassa (bijna 800 ha). Daarnaast zullen de nieuwe ketens (bestaande uit o.a. vergassingsinstallaties en een FT-fabriek) ruim 1100 ha innemen. Een deel van de huidige assets, voornamelijk het chemicaliënproductiecluster, kan hergebruikt worden in dit scenario. Opmerkelijk is het ruimtegebruik dat is toegekend aan DAC (bijna 500 ha). Dit zorgt ervoor dat de ruim 1200 PJ aan syngas vanuit biomassa voor FT-synthese wordt aangevuld met bijna 170 PJ aan syngas dat gegenereerd wordt met RWGS. In dat laatste proces wordt 10 Mt aan CO₂ vanuit DAC omgezet met H₂. Als alle ruimte binnen scope en de huidige vrije ruimte in 2050 beschikbaar komt voor de nieuwe ketens, dan zal er een tekort aan ruimte zijn van bijna 200 ha. Dit lijkt een relatief laag getal, maar moet gelezen als worden als middenwaarde en de onzekerheidsmarges zijn groot (zie Figuur 13).



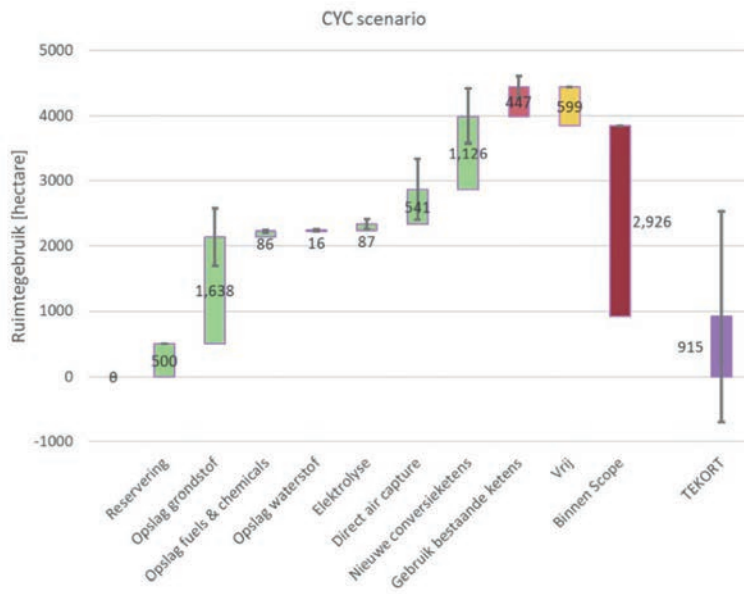
Figuur 13: Ruimtegebruik door verschillende ketenonderdelen in het BIO-scenario

In het SYN-scenario is veel minder ruimte nodig voor de opslag van biomassa en waterstof als grondstof (minder dan 300 ha, zie Figuur 14). De nieuwe conversieketens zullen bijna 700 ha gaan innemen. Dit is minder dan in het BIO-scenario, maar met het ruimtegebruik voor het elektrolyse-proces inbegrepen komen beide scenario's uit op ruim 1200 ha. Ruim 600 ha van de huidige assets, nl. aansluitend op de FT synthese, kan hergebruikt worden in dit scenario. Het grootste verschil met het BIO-scenario is het ruimtegebruik dat in het SYN-scenario is toegekend aan DAC (>3300 ha). DAC zorgt voor 67 Mt aan CO₂ waarmee de technologie het merendeel van de benodigde koolstof in dit scenario produceert. Wanneer alle ruimte binnen scope en de huidige vrije ruimte in 2050 beschikbaar komt voor de nieuwe ketens, dan zal er volgens deze inschatting een tekort aan ruimte zijn van bijna 2500 ha. Dit tekort en de grote onzekerheidsmarge volgen vooral uit het aandeel DAC in dit scenario. Eenzelfde scenario waarin DAC niet (geheel) in de haven plaatsvindt (bijvoorbeeld op basis van CO₂ import, of winning vanuit zeewater) zou substantieel minder ruimte vragen.



Figuur 14: Ruimtegebruik door verschillende ketenonderdelen in het SYN-scenario

In het CYC-scenario neemt de opslag van afval als grondstof (ruim 1600 ha) de meeste ruimte in (Figuur 15). De nieuwe ketens zullen zo'n 1100 ha gaan innemen. Dit is vrijwel hetzelfde als in het BIO-scenario. Onder de huidige aannames lijkt er op het eerste gezicht dus weinig verschil te zitten qua ruimtegebruik tussen de methanol en FT-route. Wel kan in de methanol route minder van huidige assets gebruik gemaakt worden en dat scheelt ongeveer 150 ha. Wanneer alle ruimte binnen scope en de huidige vrije ruimte in 2050 beschikbaar komt voor de nieuwe ketens, dan zal er volgens deze inschatting een tekort aan ruimte zijn van ruim 900 ha. Dit tekort is voornamelijk toe te schrijven aan de benodigde opslagcapaciteit voor afval. Wanneer afval in een andere vorm (met hogere energiedichtheid, bijvoorbeeld als pyrolyse-olie) geïmporteerd kan worden, kan dit veel ruimte schelen in het havengebied. Wel is het, zoals eerder genoemd, zeer de vraag of dergelijke hoeveelheden afval überhaupt beschikbaar komen in de haven.



Figuur 15: Ruimtegebruik door verschillende ketenonderdelen in het CYC-scenario

Ruimtegebruik 2020-2050

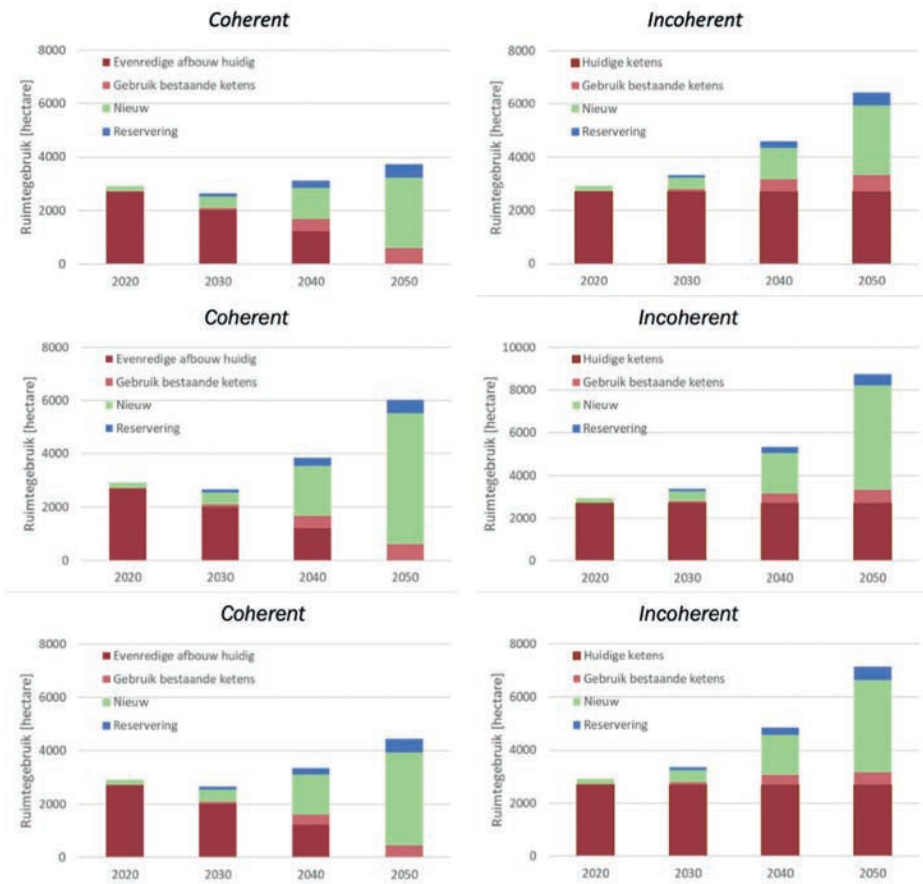
De gepresenteerde eindbeelden voor ketenontwikkeling in context van een coherent veranderingsproces tot 2050 geven nog weinig houvast voor de transitieperiode tussen nu en 2050. Deze transitieperiode is bepalend voor de uitvoerbaarheid van de implementatie van de nieuwe ketens in het havengebied.

Het coherente beeld (zie linkerhelft van Figuur 16) laat voor verschillende jaren de benodigde ruimte zien voor de opbouw van de nieuwe ketens (tot de maxima uit de Figuren 13-15) en schaaft vervolgens de huidige ketens af op basis van gereduceerde vraag naar fossiele brandstoffen.² Ondanks het feit dat voor de uithoeken van de verschillende scenario's de uitdaging in het optimistische geval van een coherent veranderingsproces al groot genoeg is, lijkt een transitie naar nieuwe brandstoffen en chemicaliën al bij voorbaat onmogelijk binnen de huidige haven te passen wanneer de transformatie incoherent zal verlopen (zie de rechterhelft van Figuur 16). De incoherente overgangen van 2020 naar 2050, waarbij het huidige ruimtegebruik voor de productie en opslag van brandstoffen en chemicaliën niet beschikbaar komt voor de nieuwe ketens, laten zien dat er één of zelfs twee extra gebieden ter grootte van de haven aan ruimte nodig zullen zijn.

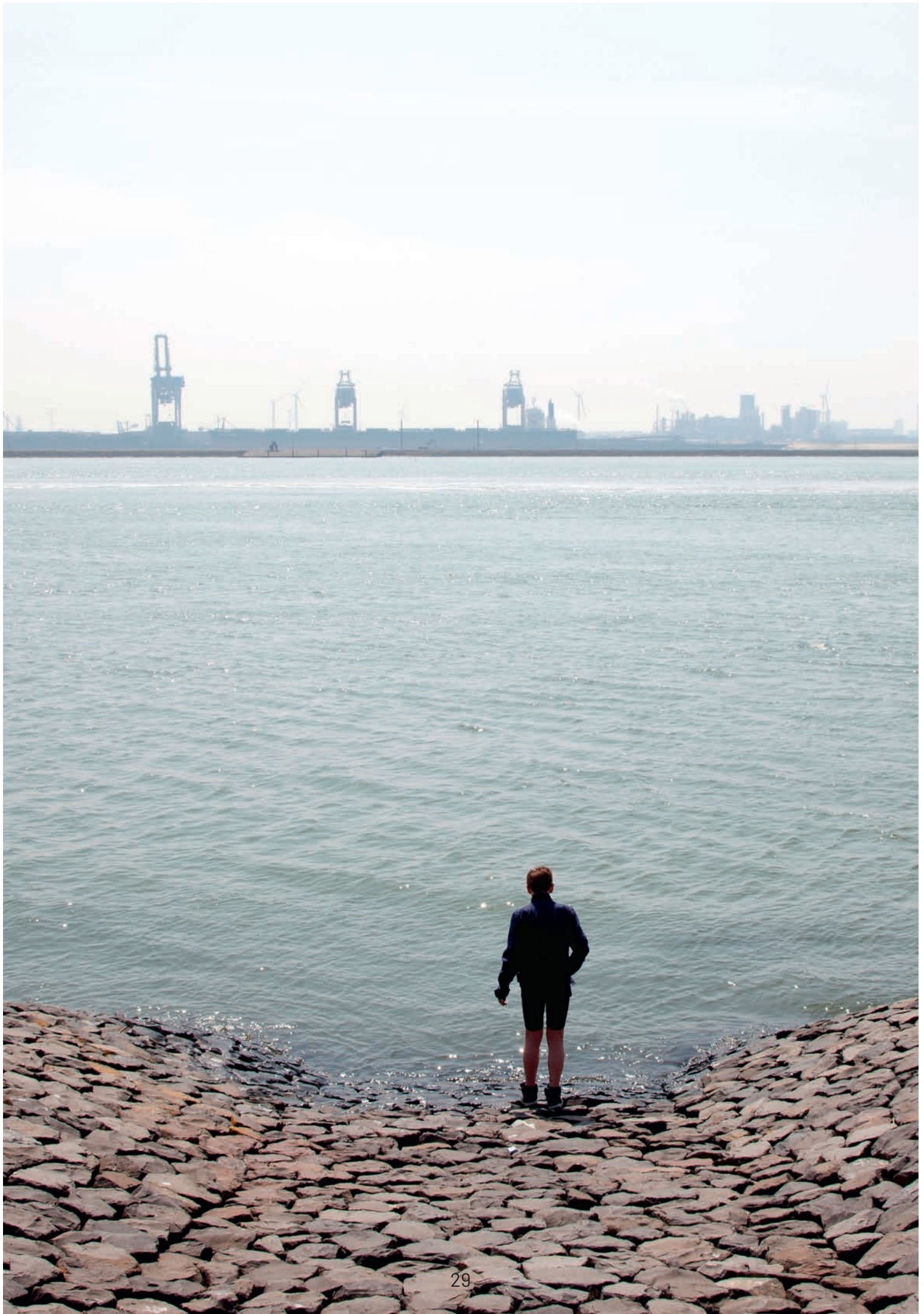
In een ideaal coherente overgang, waarin de fossiele ketens worden afgeschaald en daarbij tijdig een evenredig aandeel aan ruimte vrijmaken zal de transitie qua ruimtegebruik een stuk voorspoediger kunnen verlopen. In dat geval wordt geen rekening gehouden met de stapsgewijze afbouw die in de praktijk zal volgen bij uitfasering van bestaande faciliteiten. De afname in vraag naar brandstoffen leidt in dat geval in alle scenario's tot een lichte afname van ruimtegebruik in 2030, waarna het ruimtegebruik weer toeneemt richting 2050 door de opbouw van nieuwe ketens.

De mate waarin het ruimtegebruik toeneemt is afhankelijk van het scenario. Het efficiënt (her)gebruiken van bestaande bedrijfsterreinen lijkt dus essentieel om de nieuwe hernieuwbare ketens op te zetten. Dit houdt wel in dat een groot deel van het huidige industriële cluster binnen 30 jaar volledig omgevormd moet zijn en de oude ketens moeten zijn afgebouwd.

2 Merk op dat in de berekening van het ruimtetekort in Figuren 13-15 niet alleen afschaling van de huidige ketens wordt meegenomen, maar ook het gebruik van de nog vrije beschikbare ruimte van 599 ha. Deze vrije beschikbare ruimte vormt geen onderdeel van het berekende benodigde ruimtebeslag in het coherente scenario in Figuur 16. Zo wordt voor het SYN Scenario een ruimtetekort berekend van 2489 ha (nieuwe keten minus vrije ruimte minus bestaande keten) in 2050. Het ruimtebeslag in het coherente scenario in 2050 bestaat uit ongeveer 6000 ha. Het verschil tussen het huidige ruimtebeslag in 2020 van ongeveer 3000 ha en het ruimtebeslag in 2050 van ongeveer 6000 ha bestaat dan uit het ruimtetekort van 2489 ha + de beschikbare vrije ruimte van 599 ha.



Figuur 16: Ruimtegebruik in het BIO (boven) SYN (midden) en CYC (onder) scenario bij coherente (links) en incoherente (rechts) aanpak



Conclusies en aanbevelingen

Het Havenbedrijf Rotterdam werkt samen met het bedrijfsleven in de haven en de overheid aan een toekomstbestendige haven. Om dit te realiseren moet de haven ruimte beschikbaar maken om haar waarde te blijven behouden tijdens de energietransitie en bedrijvigheid opschalingskansen te bieden. Deze ruimtelijke uitdaging vraagt om een geïnformeerde strategische aanpak voor nu en in de toekomst. Daarom heeft SmartPort TNO gevraagd om een verkennend onderzoek uit te voeren naar het ruimte-vraagstuk dat ontstaat rondom de energietransitie.

In deze rapportage wordt een drietal beelden ontwikkeld voor de uithoeken van de verschillende ketenscenario's naar energiedrager (respectievelijk biomassa, elektriciteit en afval), gebaseerd op een inschatting van de vraag naar hernieuwbare alternatieven in 2050. Deze is mede gebaseerd op de huidige stromen die door de haven gaan. Daarbij wordt uitgegaan van een overvloedige beschikbaarheid van de grondstoffen biomassa, elektriciteit, CO₂ en afval. Aannemelijker perspectieven op deze beschikbaarheid zullen naar onze verwachting lager liggen, waarmee een aannemelijk ruimtebeslag ook lager uit zal vallen. Voor elk van deze beelden worden alternatieven voor ketenontwikkeling in kaart gebracht, met bijbehorend ruimtebeslag.

De analyse van verschillende routes en scenario's die bijdragen aan de klimaatdoelstellingen van de Rotterdamse Haven en die binnen de energietransitie gevolgd kunnen worden, heeft laten zien dat elk (coherent) scenario qua inpasbaarheid haar beperkingen kent:

- Zo zou alleen het BIO-scenario in het meest optimistische geval ruimtelijk vrijwel ingepast kunnen worden (~200 ha tekort). Dit scenario gaat er echter vanuit dat er 2.600 PJ per jaar kan worden aangevoerd voor lokaal verbruik, wat ongeveer gelijk staat aan ruim zeven maal het huidige en toekomstige biomassa productiepotentieel in Nederland of 25% van het huidige Europese gebruik van biomassa voor energie en grondstoffen.
- Om het SYN-scenario te realiseren is zo'n 2.500 ha extra ruimte benodigd. Dit komt met name door de aanname dat alle DAC technologie binnen het havengebied gerealiseerd wordt. Om dit ruimtebeslag te verminderen moeten keuzes gemaakt worden over het mogelijk importeren van een groter deel van de benodigde waterstof en/of CO₂.
- Ook het CYC-scenario vraagt veel extra ruimte, namelijk zo'n 900 ha. Om de energiebehoefte van de haven via deze keten te realiseren is een (huishoudelijke) afvalstroom nodig van 164 Mt per jaar. Een consequentie van de lage energiedichtheid van de (huishoudelijke) afvalstroom is dat veel ruimte nodig is voor de opslag van afval. Het is echter de vraag of er voldoende afval beschikbaar komt als de benodigde afvalstroom vergeleken wordt met de ruim 7 Mt afval die nu jaarlijks in de Nederlandse AVI's verwerkt wordt.

In het algemeen kan dan ook geconcludeerd worden dat aan de voorkant van de ketens, met de lokale opslag van aangevoerde grondstoffen en winning van CO₂, stappen zitten die veel ruimte vragen vanwege de lagere energiedichtheid vergeleken met fossiele grondstoffen. Om dit ruimtebeslag te verminderen

ren kan ingezet worden op ontwikkeling van sub-ketens achter in de keten (in combinatie met import van halffabricaten), of import van eindproducten. Daarnaast kan het combineren van verschillende ketens ruimte besparen en kansen bieden voor hogere productiviteit per ha. Zo kan bijvoorbeeld de CO₂-output van het BIO-scenario dienen als input voor het SYN-scenario.

Een belangrijke voorwaarde voor minimalisatie van het ruimtebeslag is dat de energietransitie volgens een coherente aanpak ingezet wordt. Dat betekent dat de spelers in de haven individueel, maar ook met elkaar, moeten kijken naar mogelijkheden om het ruimtebeslag te beperken. Voorbeelden hiervan zijn het zo snel mogelijk afbouwen van assets die niet meer ingezet kunnen worden voor nieuwe brandstoffen en chemicaliën, mogelijkheden verkennen voor inbreiding op de huidige locatie en kijken of door samenwerking bepaalde assets eerder afgebouwd kunnen worden en/of nieuwe ketens versneld gerealiseerd kunnen worden. Zonder een dergelijke coherente aanpak zullen één of zelfs twee extra gebieden ter grootte van de Tweede Maasvlakte nodig zijn om in de ruimtebehoefte te voorzien.

Daarnaast spelen factoren die in dit verkennende onderzoek buiten scope zijn gebleven een rol in de invulling van de toekomstige ruimtevrage. Dit betreft onder meer milieuruimte, veiligheidscontouren en geluidsruimte. Aan dergelijke zaken zal in vervolgonderzoek aandacht besteed moeten worden.

Mogelijke onderwerpen voor vervolgonderzoek

Deze studie is een verkennende studie naar de ruimtelijke consequenties van de energietransitie voor de Rotterdamse haven. Juist omdat we de uithoeken in groei hebben opgezocht, is nieuwsgierigheid gewekt naar mogelijke consequenties en oplossingen. Op basis van de conclusies, aangevuld met ideeën vanuit de Stuurgroep, komen we tot de volgende aandachtspunten die interessant zouden zijn om nader te onderzoeken:

Aanvoerstromen, ketenontwikkeling en vraagontwikkeling:

- Wat zijn aannemelijke ontwikkelingen van aanvoervolumes en vraag naar eindproducten in internationale context?
- Welk ruimtebeslag resulteert bij aannemelijker aanvoerstromen en optimalisatie door logische combinatie van de verschillende routes binnen de scenario's?
- Wat gebeurt er met het ruimtevraagstuk als delen van de productieketens buiten Rotterdam gaan plaatsvinden, en kan daar een realistische inschatting van worden opgesteld?

Ketenelementen:

- Wat zijn de ruimtelijke gevolgen als voor andere soorten biomassa en conversieprocessen gekozen wordt?
- Welke alternatieven voor invulling van de behoefte aan koolstof zijn denkbaar en hoe beïnvloeden die het ruimtegebruik? (denk bijvoorbeeld aan DAC en elektrolyse op zee)

Systeemaafbakening ketenontwikkeling:

- Hoe en in welke mate kan de vrijgekomen restwarmte effectief worden ingezet?
- Wat betekenen de scenario's voor de proceswaterbehoefte? Wat is de invloed op de kwaliteit van oppervlaktewater?
- Welke impact en/of beperkingen volgen er uit randvoorwaarden in het kader van milieu (zoals NO_x, fijnstof en geluid) en veiligheid?

Veronderstellingen coherente en incoherente aanpak:

- Welke processtappen zijn er nodig om alle partijen mee te krijgen en een coherente aanpak te stimuleren/garanderen?
- Welke meer specifieke scenario's kunnen er worden opgesteld voor coherente aanpak van nieuwe ketenontwikkeling gelijktijdig met afgestemde afbouw van bestaande ketens?
- Welke coherente ontwikkeltrajecten passen bij welke ontwikkelingen in internationale context?
- Wat zijn de ruimtelijke gevolgen van robuuste en haalbare coherente ketenontwikkeling?

Detailering van ontwikkelpaden in de tijd:

- Welke ontwikkelingen kunnen we na 2030 verwachten en wat moet er dan gebeuren?
- Waar liggen points of no return binnen de energietransitie en welk beleid moet daarop gevoerd worden? Bijvoorbeeld: als boorplatforms nu afgebroken worden, kunnen die niet meer ingezet worden voor DAC en opslag CO₂.

Referenties

1. CE Delft. (2020). Bio-Scope. Delft: CE Delft.
2. Climeworks. (Accessed July 2021). Opgehaald van <https://climeworks.com/orca>
3. Derking, H., van der Togt, L., & Keezer, M. (2019). Liquid Hydrogen Storage: Status and Future Perspectives.
4. H21 NoE. (2018). H21 North of England.
5. Havenbedrijf Rotterdam. (2020). Haven van Rotterdam wordt internationale waterstofhub.
6. ISPT. (2020). Gigawatt green hydrogen plant.
7. Melieste, R. (2019). Havenbedrijf Rotterdam N.V., Energiebalansen 2018.
8. Oliveira, C., & van Dril, T. (2021). Decarbonisation options for large volume organic chemicals production, Sabic Geleen.
9. Port of Rotterdam. (2016). Facts & Figures on the Rotterdam energy port and petrochemical cluster.
10. Shell. (Accessed July 2021). Pearl GTL. Opgehaald van <https://www.shell.com/about-us/major-projects/pearl-gtl.html>
11. TNO & Smartport. (2020). Power-2-fuel Space requirements.
12. Velocys. (2017). Roll out of smaller scale GTL technology at ENVIA Energy's plant in Oklahoma City, USA. Opgehaald van https://www.velocys.com/press/ppt/Gastech2017_Velocys_FINAL_4.3_web.pdf
13. Wuppertal Institut. (2016). Decarbonization Pathways for the Industrial Cluster of the Port of Rotterdam. Wuppertal: Wuppertal Institut.

Appendix 1

Verondersteld ruimtebeslag per ketensegment

Step		Range	Selected value				Product	LHV (MJ/kg)	Sources
Methanol plant	From syngas to methanol	0,03	0,03	ha/tph	292000	tpy/ha	Methanol	20	TNO P2F
MTG	From methanol to fuels		0,059	ha/tph	148474,576271186	tpy/ha	Fuels	43	estimate, based on FT plant
MTO	From methanol to base chemicals (olefins/benzene)		0,059	ha/tph	148474,576271186	tpy/ha	Chemicals	45	estimate, based on FT plant
Alkaline electrolysis	From water to H2	0.3 - 1.5	0,8	ha/tph	24	ha/GW	H2	120	ISPT GW, H21 NoE, TNO P2F
PEM electrolysis	From water to H2	0.09 - 0.13	0,13	ha/tph	67384,6153846154	tpy/ha	H2	120	H21 NoE, TNO P2F
Direct air capture	From air to CO ₂	0.002 - 1.75	0,4	ha/tph	21900	tpy/ha	CO ₂	0	TNO P2F, Climeworks
Refinery	From crude oil to fuels	0.01-0.17	0,12	ha/tph	73000	tpy/ha	Fuels	43	POR F&F, 2016
Hydrocracker	From syncrude to fuels and naphtha		0,0872272340425532	ha/tph	100427,35042735	tpy/ha	Fuels	43	10% of refinery space, POR F&F, 2016
FT synthesis	From syngas to syncrude	0.023-0.095	0,059	ha/tph	148474,576271186	tpy/ha	Syncrude	43	Average of range (Velocys pilot to Shell Pearl Plant)
RWGS	From CO ₂ and H2 to syngas		0,03	ha/tph	292000	tpy/ha	Syngas	24	estimate, based on Methanol plant
Gasification	From biomass/waste to purified syngas	0.047-0.19	0,1185	ha/tph	73924,0506329114	tpy/ha	Syngas	24	Average of range (Velocys pilot to Shell Pearl Plant)
Chemicals production	From base chemicals to chemical products		0,867207286921695	ha/tph	10101,3911346331	tpy/ha	Chemicals	45	Current use minus naphthacracker footprint
Naphthacracker	From naphtha to base chemicals (olefins/benzene)	0.37-1.35	0,370059405940594	ha/tph	23671,875	tpy/ha	Chemicals	45	POR F&F, 2016, 20% Shell Moerdijk site; MIDDEN Sabic Geleen
Biofuels storage			0,0000708853354134165	ha/t	141072,902338377	tpy/ha	Biofuels	43	POR F&F, 2016
Chemicals storage			0,0000708853354134165	ha/t	141072,902338377	tpy/ha	Chemicals	45	POR F&F, 2016
Waste storage			0,00009	ha/t	111111,111111111	tpy/ha	Municipal waste	11	estimate based on biomass storage and corrected for energy density
Oil storage		0.00003-0.00005	0,00004	ha/t	500000	tpy/ha	Fuels	43	POR F&F, 2016
Solid biomass storage		0.00004 - 0.00007	0,000055	ha/t	181818,181818182	tpy/ha	Wood pellets	18	POR F&F, 2016
Liquid hydrogen storage		0.00005-0.0002	0,000103074965261025	ha/t	97016,7680840466	tpy/ha	H2	120	NASA storage tank 3800 m3, 270 ton
Methanol storage			0,00004	ha/t			Methanol	20	estimate based on oil (liquid) storage
CO ₂ storage			0,0000255	ha/t			CO ₂		TNO P2F (horton spheres)

Sources:

- TNO P2F (TNO & Smartport, 2020)
- ISPT GW (ISPT, 2020)
- H21 NOE (H21 NoE, 2018)
- Climeworks (Climeworks, Accessed July 2021)
- POR F&F 2016 (Port of Rotterdam, 2016)
- Velocys (Velocys, 2017)
- Shell Pearl (Shell, Accessed July 2021)
- MIDDEN Sabic Geleen (Oliveira & van Dril, 2021)
- NASA storage tank (Derking, van der Togt, & Keezer, 2019)

Colofon

©SmartPort
september 2021

Ontwerp: IJzersterk.nu
Fotografie: Shutterstock

Alle opgenomen informatie is eigendom van SmartPort. Overnemen van inhoud, geheel of gedeeltelijk is toegestaan mits bronvermelding is toegepast.

Vrijwaring

SmartPort heeft de grootst mogelijke zorg besteed aan de samenstelling van dit document. Desondanks accepteert SmartPort geen aansprakelijkheid voor eventuele onjuistheden in de informatie, noch voor schade, overlast of ongemak dan wel andersoortige gevolgen die voortvloeien uit of samenhangen met het gebruik van deze informatie.



connecting
knowledge

HEEFT U VRAGEN?

SmartPort
info@smartport.nl
tel. 010 402 03 43