

Energietransitie in de Rotterdamse haven



Bron: Havenkrant Rotterdam

Abel Machielse (NG/NT)
Profielwerkstuk maatschappijleer

4/4/2021
Begeleider: Henk van Doren

Inhoudsopgave

• Samenvatting	2
• Voorwoord	3
• Inleiding	4
• Probleemstelling	5
• Toelichting	5
• Aanpak	7
• Energiebronnen en -dragers	8
• Staand energiebeleid	12
• Projecten en Plannen	13
• Toekomstige innovaties	16
• Ontwikkelingen elders	18
• Mening en Kritiek	20
• Toekomstscenario	22
• Discussie	24
• Bronnenlijst	25

Samenvatting

Het klimaatprobleem brengt grote uitdagingen met zich mee, onder andere voor de Rotterdamse haven. Ik heb me verdiept in de energietransitie omdat de grote vraagstukken van deze tijd mij enorm boeien. Als Rotterdammer ben ik extra geïnteresseerd in het duurzaam voortbestaan van de Rotterdamse haven.

De Rotterdamse haven en het Havenbedrijf Rotterdam zijn net zoals iedereen verantwoordelijk voor deze transitie en hebben de verantwoordelijkheid om mee te helpen het probleem op te lossen. Dit geldt des te meer omdat de haven een belangrijk knooppunt is van de Europese handel. We weten allemaal dat de vervoerssector een van de grootste vervuilers is. Daarom wil het Havenbedrijf Rotterdam, conform de richtlijnen van het Parijs Klimaatakkoord¹, zijn uitstoot verminderen. In 2050 wil de haven compleet CO₂-neutraal zijn. Maar hoe? Mijn probleemstelling luidt: 'Hoe kan de haven van Rotterdam bijdragen aan het realiseren van een CO₂-neutraal 2050?'

Ik ben mijn zoektocht begonnen met het lezen van relevante artikelen en het opzoeken van de nodige informatie over alternatieve energiebronnen en -dragers. Daarna heb ik gekeken naar de voor- en nadelen van de opties. Interviews met experts hielpen mij om mijn denkrichtingen te testen en openstaande vragen te beantwoorden. Om een zo realistisch mogelijk beeld te schetsen heb ik steeds geprobeerd om open te blijven staan voor

nieuwe ideeën. Innovaties in huidige productieprocessen en groene innovaties kunnen de wereld namelijk razendsnel veranderen.

Hét antwoord op mijn probleemstelling heb ik niet gevonden en dat kan ook (nog) niet. Het is een enorm brede en complexe vraag die niet volledig kan worden beantwoord in één rapport. Wel kan ik denkrichtingen schetsen. Daarom heb ik een toekomstscenario geschreven, waarin ik zoveel mogelijk innovatieve aspecten, die ik belangrijk vind, heb meegenomen. Ik ontdekte dat de samenhang tussen efficiency, betrouwbare en groene energiebronnen en circulaire systemen van groot belang is, net zoals de samenwerking tussen het Havenbedrijf en zijn partners. Een CO₂-vrije toekomst is alleen reëel wanneer iedereen daar (samen) aan werkt.

¹ *European Parliament, 'International Climate Negotiations'*

0.Voorwoord

Voor u ligt mijn profielwerkstuk. Zoals elke 6e klasser van het VWO moet ik in mijn laatste schooljaar een werkstuk maken. Het onderwerp is naar eigen keuze. Ik heb een maatschappelijk, maar ook technisch onderwerp gekozen met een Rotterdams tintje: energietransitie in relatie met de haven van Rotterdam. In dit werkstuk ga ik dus verder op dit vraagstuk in. Ik heb dit onderwerp gekozen omdat ik een vervolgstudie op het oog heb waar grote maatschappelijke vraagstukken centraal staan in combinatie met de technologische en economische aspecten van die vraagstukken. Deze brede combinatie van maatschappij, technologie en economie boeit mij enorm. Vooral de samenhang tussen deze onderwerpen is iets wat me erg interesseert. Ik heb mij met dit werkstuk dus in feite al een stukje voorbereid op mijn latere studie. En ik kan zeggen, het beviel. Dus ik hoop na het behalen van mijn vwo-diploma volgend jaar hierin door te kunnen gaan. En met dit werkstuk een eerste proeve van bekwaamheid te laten zien.

1. Inleiding

In 1896 merkte de Zweedse wetenschapper Svante Arrhenius² als eerste op dat de verbranding van fossiele brandstoffen de opwarming van de aarde kan versterken. Deze ontdekking en nakomende data werden grotendeels genegeerd tot een kleine honderd jaar later de Club van Rome³ de noodzaak van duurzaamheid weer op de politieke agenda plaatste. Ook daarna bleef het weer lang stil.

Tot er een paar jaar geleden door wetenschappers werd geroepen dat we nu echt iets moest gebeuren voordat het te laat zou zijn. En zelfs deze oproep heeft nog niet iedereen wakker geschud. Zelfs nu wordt er nog relatief weinig aandacht aan het onderwerp besteed, terwijl het klimaatprobleem enorme gevolgen heeft voor de opwarming van de aarde, onze dagelijks leven en de vermindering van biodiversiteit. Het is gelukkig niet zo dat er niets gebeurt. Sinds de genoemde noodkreten zijn we overal op aarde op verschillende niveaus bezig met de transitie naar een CO2-neutrale toekomst. Deze zijn in 2016 vastgelegd in het Akkoord van Parijs⁴. Dit geldt ook voor de Rotterdamse haven. De Rotterdamse haven heeft de prioriteit van het probleem onderkend, een beleid ontwikkeld en is projecten gestart om op een positieve manier bij te dragen aan de noodzakelijke veranderingen. Op het moment is de haven een knooppunt voor handel in Europa en een productiecentrum voor de

chemische industrie. Beide veroorzaken nog een behoorlijke vervuiling en CO2-uitstoot. Over ongeveer 30 jaar moet dat tot nul gereduceerd zijn. Een behoorlijk uitdagende opgave. Ik heb voor mijn profielwerkstuk daarom de volgende hoofdvraag geformuleerd:



Begin van de industriële revolutie

Bron: geschiedenisweb

² Wikipedia 'Svante Arrhenius'

³ Wikipedia 'Club van Rome'

⁴ European Parliament, 'International Climate Negotiations'

Probleemstelling

Hoe kan de haven van Rotterdam bijdragen aan het realiseren van een CO2-neutraal 2050?

Dit is een heel brede vraag. Ik heb me daarom vooral gericht op hoe in de haven groene energie opgewekt wordt en hoe deze energie benut kan worden. Ik heb me in mijn onderzoek bijvoorbeeld niet gefocust op de productie van afbreekbare grondstoffen die daar in de chemische industrie, die daar is gevestigd, plaatsvindt. Ook heb ik geen onderzoek gedaan naar de mogelijkheden van elektrificatie voor bijvoorbeeld vervoer. Ik merkte tijdens het onderzoek dat het een te grote opgave zou zijn om alles in het rapport te verwerken en dus heb ik richtlijnen voor mezelf ontwikkeld die deels tijdens het onderzoek zijn ontstaan en deels uit mijn ideeën voor het onderzoek voortkomen.



Fossiele verbrandingscentrale

Bron: AD

Ik koos hiervoor omdat energie in essentie de basis is van onze infrastructuur en vervoer. Als dat allemaal niet goed op orde is, dan zijn de nakomende toepassingen waarschijnlijk sowieso niet haalbaar. Een kwestie dus van beginnen bij de basis. Het vraagstuk is al complex genoeg.

2. Toelichting

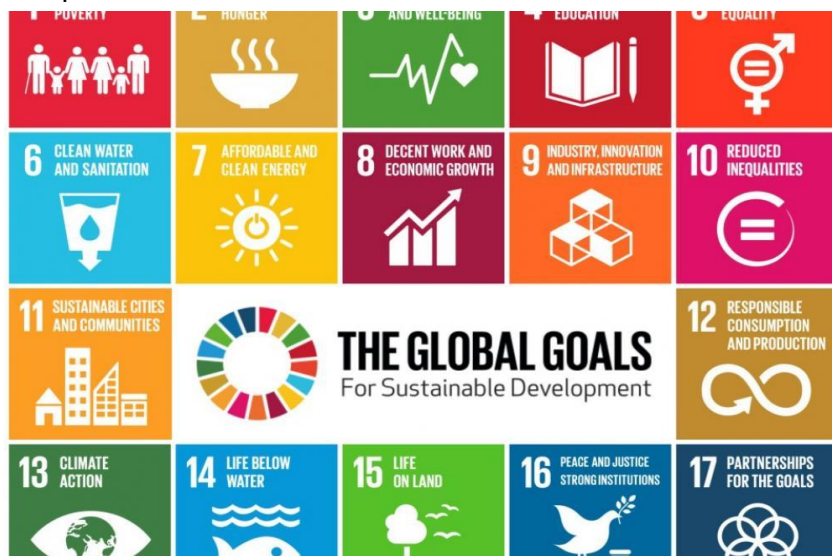
De Rotterdamse haven stootte in 2017 zo'n 33,1 MT (megaton) CO₂ uit. Dit is gelijk aan 17% van de totale Nederlandse uitstoot in dat jaar verdeeld over zo'n 42 km havengebied. Als we het Akkoord van Parijs⁵ willen realiseren moet de CO₂ uitstoot in 2050 teruggedrongen zijn tot nul. Ook de haven wil hieraan meehelpen en heeft dus plannen gemaakt om zijn uitstoot te verminderen.

De drie functies van de haven zijn: logistiek, maritiem en industrie. Logistiek gaat over het vervoer van grondstoffen en (half)producten in en uit de haven. De grote containerschepen en de, overigens bijna volledig geautomatiseerde, terminals zijn iconen van de Rotterdamse haven. Maar ook het vervoer per truck of trein zijn deel van de logistieke functie van de haven. Onder maritiem valt in essentie het vervoer via binnenvaart en zeescheepvaart inclusief het aanleggen van de schepen aan kades of voor onderhoud en dergelijke. De industriële functie is in de haven van Rotterdam veel groter dan de meeste mensen weten. Zo is in Rotterdam het grootste West-Europese chemische complex gevestigd.

⁵ *European Parliament, 'International Climate Negotiations'*

Het Havenbedrijf verhuurt behalve kades voor de logistieke en maritieme functie ook veel bedrijfsterreinen in het havengebied aan productiebedrijven, waaronder de olieraffinaderijen en chemiebedrijven. Alles bij elkaar gaat het om duizenden bedrijven met zo'n 90.000 werknemers.

De omslag van een vervuilende haven naar een schone haven raakt dus veel partijen en om deze veranderingen goed te begeleiden zal het Havenbedrijf Rotterdam met veel partijen rekening moeten houden en zal het goede samenwerking moeten faciliteren. Ook moet het rekening houden met de financiële haalbaarheid van mogelijkheden op de korte en lange termijn. De haven moet er ook voor zorgen dat het competitief blijft ten opzichte van andere havens en dat zij haar marktpositie als knooppunt van Europa kan behouden.



Internationale klimaatdoelen

Bron: UN

In de interviews die ik voor mijn werkstuk heb gehouden, heb ik naast mogelijkheden ook naar de grootste belemmering gevraagd voor de transitie van de Rotterdamse haven. Daarbij kwam meerdere keren naar voren dat

- 1) de hoge efficiency van de haven de verandering van industrieën belemmert;
- 2) het feit dat niet duurzaam produceren nu nog goedkoper is dan het duurzame alternatief;
- 3) de regering nog geen eenduidige richtlijnen heeft gegeven voor de te behalen CO2-doelstellingen;
- 4) al het al geïnvesteerde geld in de oude industrieën de transitie naar nieuwe industrieën belemmert.

Dit betreft serieuze belemmeringen, die niet gemakkelijk met het vinden van een technologische oplossing alléén opgelost kunnen worden. Daarbij komt dat de haven, en in het bijzonder het Havenbedrijf Rotterdam, wel zeggenschap heeft over de kades en de terreinen, maar niet over hoe de bedrijven in de haven zich organiseren. Het Havenbedrijf heeft onvoldoende zeggenschap om verandering af te dwingen. Samenwerking en het bieden van aantrekkelijke alternatieven maar zeker ook het aanspreken van bedrijven op hun maatschappelijke verantwoordelijkheid om niet vervuilend bezig te zijn, zijn dus belangrijke onderdelen van de aanpak naar een schone haven.

3. Aanpak

Ik ben begonnen met het lezen van artikelen. Hiermee heb ik kennis opgedaan over het onderwerp en ideeën gevormd voor eventuele oplossingen van het probleemstelling. Daarnaast heb ik rapporten bestudeerd zoals die van het Wuppertal-instituut, organisaties als TNO en uiteraard ook van het Havenbedrijf Rotterdam. Ze waren vaak inspirerend en hielpen ook bij het vinden van aanvullende informatie. Daarnaast heb ik onderzoek gedaan naar verschillende soorten energiebronnen en energiedragers, zodat ik later de kosten, vervuilingfactor en de voor en nadelen met elkaar kon vergelijken.

Er waren zes experts bereid om mij aan het woord te staan over dit onderwerp. Vanwege de lockdown kon er geen fysieke ontmoeting plaatsvinden maar Microsoft teams was een goede oplossing. Doordat de interviews online plaatsvonden kon ik deze opnemen en dus later terugkijken.

De geïnterviewden waren:

- Reinier Zeldenrust (strategic sustainable architect)
- Thijs Mandersloot (innovator bij Vattenfall)
- Robert Geurts (senior bedrijfsadviseur bij FME)
- Harry Geerlings (professor in the Governance of Sustainable Mobility bij de Erasmus Universiteit)
- Kees Joosten (directeur Bax & Company, advies- en onderzoeksbureau over onder meer duurzaamheid)
- Michiel Nijdam (Head of Strategy bij het Havenbedrijf Rotterdam).

Ik heb deze mensen gekozen vanwege hun expertise op het vlak van sustainability. Ik heb iedere geïnterviewde dezelfde open vragen gesteld zodat de interviews goed met elkaar te vergelijken waren en zo kon ik voor mezelf een breder, objectiever beeld ontwikkelen. Doordat ik met open vragen heb gewerkt voorkwam ik dat ik het bredere plaatje niet op voorhand uit het oog verloor. Soms heb ik in de interviews ook uitspraken van anderen getoetst (“klopt dit of dat”, “hoe staat u daartegenover”, e.d.). Maar steeds met de onderliggende vraag: hoe kunnen we in de Rotterdamse haven komen tot een CO2-neutrale toekomst?

Om een zo'n realistisch mogelijk beeld te schetsen heb ik geprobeerd om zo open mogelijk te blijven voor nieuwe ideeën. Ik heb mezelf afgevraagd welke energiebron en -drager het beste zou passen bij de haven, kijkend naar de voor- en nadelen, prijs, oppervlakte-inname en milieuvriendelijkheid. De vragen die ik aan de geïnterviewden heb gesteld waren onder meer vragen over wat de transitie belemmert of welke andere landen op de wereld er zijn waar ze goed bezig zijn en die we als voorbeeld zouden kunnen gebruiken. Ook heb ik ze gevraagd wat ze van de plannen vonden en of ze vinden dat de veranderingen snel genoeg plaatsvinden. Dit waren vraagstukken waar ik zelf ook over moest nadenken en ik kon de interviews gebruiken om mijn kennis te verbreden en mijn antwoorden te bevestigen.

Voordat ik tot opties en conclusies kan komen vond ik het nuttig om eerst een opsomming te maken over welke mogelijkheden er nu en mogelijk later zijn om tot een groene energieproductie te komen. Hieronder volgt het overzicht.

4. Energiebronnen en -dragers

Niet elke energiebron is hetzelfde. Zelfs als een energiebron geen uitstoot heeft kan het nog steeds andere nadelen of beperkingen hebben. Energiedragers zijn manieren om overtollige energie, wat je op dat moment niet nodig hebt, op te kunnen slaan.

Energiegebruik is niet constant en dus heb je betrouwbare energiebronnen nodig of een manier om de pieken in energiegebruik te compenseren.

-Zonne-energie:

De energie van de zon is één van de grootste energiebronnen op aarde. Helaas kunnen we met onze huidige technologie maar een klein deel van deze energie opvangen. Door middel van fotovoltaïsche cellen (PV-cellen) op bijvoorbeeld zonnepanelen kan licht worden omgezet in elektriciteit. Ook kan thermische zonne-energie worden gebruikt, hierbij wordt zonlicht omgezet naar warmte door middel van zonneboilers (alleen geschikt voor gebieden met weinig bewolking). Zonne-energie is relatief goedkoop en een recente ontwikkeling, de prijs zal blijven dalen en de efficiency zal stijgen hoe meer ontdekt en verbeterd wordt in de productie en bouw van de panelen. Het is niet vervuilend en is volledig hernieuwbaar. De hoeveelheid potentiële zonne-energie verschilt per regio op aarde en het is vanwege slechts gedeelten van de dag beschikbaar.

Bron: Wikipedia Zonne-energie



Zonnepanelen Bron: Hollandse Hoogte- Ries van den Wendel de Joode

-Waterkracht:

Dit is energie die wordt gehaald uit stromend water. Opwek is mogelijk door gebruik te maken van hoogteverschillen of de stroomsnelheid van water. Deze energie kan worden opgevangen door middel van een waterkrachtcentrale of een hydraulische centrale waarin stromend of neerstortend water turbines aangedreven. Ook kan verschil in waterhoogte tussen eb en vloed gebruikt worden, zogeheten getijdenenergie. Dit kan op het wateroppervlak alsook onder het oppervlak toegepast worden. Energie uit water is niet vervuilend en volledig hernieuwbaar. Deze vorm van energiewinning vereist snel stromend water of een hoogteverschil, wat schaars is in ons platte land.

Bron: Wikipedia Waterkracht

-Windenergie:

Energie van wind wordt gewonnen door iets in beweging te brengen en de daarmee vrijkomende energie om te zetten in een bruikbare vorm. Nederland is van oudsher beroemd om deze energievorm via onze molens. Tegenwoordig worden grote windturbines ingezet om deze energie door middel van een ingebouwde generator op te wekken. Windenergie is volledig hernieuwbaar en stoot geen CO₂ uit. Het kan echter wel hinderlijk zijn voor mensen en dieren in de omringende natuur en het wordt door velen gezien als horizonvervuiling. Windenergie is net zoals zonne-energie een recente ontwikkeling en zal dus goedkoper en efficiënter worden als het meer wordt ingezet en aanvullende verbeteringen en ontdekkingen worden gedaan. De hoeveelheid windenergie verschilt per regio. Dit is één van de redenen waarom windparken op zee lucratiever zijn dan op land; het waait daar vaak harder en vaker.

Bron: Wikipedia Windenergie

-Kernenergie:

'Energie opgewekt via kernreacties komt vrij als warmte, die op een conventionele manier (stoom, stoom turbines en generatoren) wordt omgezet in energie.' (*Wikipedia Kernenergie*). Water wordt verhit door middel van kernsplijting. Plutonium- of uranium-atomen worden gesplitst waardoor enorme hoeveelheden energie vrijkomen. Dit verhit het water wat verdampt en een turbine aandrijft. De turbine drijft een generator aan waarin elektriciteit wordt opgewekt. Kernenergie is niet vervuילend maar heeft wel nadelen. Wanneer een reactor oververhit raakt kan het in meltdown gaan waardoor grote hoeveelheden radioactieve straling kunnen



Windmolenpark op de Noordzee

Bron: Rijnmond



Kerncentrale

Bron: Clubic

ontsnappen en de omgeving en omwonenden beschadigen of zelfs doden. Kernafval, het bijproduct van de reactie, kan zo'n 300 tot duizenden jaren radioactief blijven en dus schadelijk tot ver in de omtrek. Kernenergie stoot een zeer beperkte hoeveelheid CO₂ uit en is bijna volledig hernieuwbaar. De prijs voor de bouw en onderhoud van kerncentrales is hoog maar nucleaire energie is zeer winstgevend doordat er maar weinig brandstof nodig is. Het kan altijd geleverd kan worden en is dus goed inzetbaar op de momenten dat andere energiebronnen geen energie kunnen leveren.

Bron: Wikipedia Kernenergie

Bron: Wikipedia Radioactief afval

-Biomassa:

'Bio-energie of energie uit biomassa is de verzamelnaam voor energie uit energiedragers die rechtstreeks, dan wel via een chemische omweg, zijn gewonnen uit organisch materiaal (biomassa)' (*Wikipedia 'Bio-energie'*). De energie wordt gewonnen door het verbranden van brandstof. Er wordt bijvoorbeeld in Nederlandse kolencentrales een deel biomassa toegevoegd aan de kolen om een wat meer CO₂-neutrale elektriciteitsproductie te bereiken. Je kan afval zoals papier en karton ook gebruiken als biomassa. Doordat bijna al het afval en restproducten als biomassa gebruikt kunnen worden wel is het een goedkope energiebron. De brandstof is vaak wel vervuilend; ofwel door productie, of omdat het speciaal ervoor gemaakt wordt onder meer door er bomen voor om te zagen. Hierdoor gaan hele stukken bos verloren. Er is ook een groeiend besef, en daarmee weerstand, tegen biomassa omdat het zeker niet altijd bijdraagt aan het realiseren van een energieneutrale samenleving.

Bron: Wikipedia Bio-energie



Waterstofbus

Bron: FME

-Diwaterstof:

'Diwaterstof of moleculaire waterstof (H₂) is de belangrijkste enkelvoudige stof van het element waterstof.' (*wikipedia 'Diwaterstof'*). Het gas (bij normale druk en temperatuur) is uiterst brandbaar, kleurloos en smaakloos. Wanneer het in aanraking komt met zuurstof reageert het en komt energie vrij. Je kan elektriciteit gebruiken om water te splitsen in waterstofgas en zuurstofgas, bijvoorbeeld door middel van elektrolyse. Je kan het water wat wordt gebruikt voor waterstof hergebruiken waardoor waterstof een circulair systeem kan zijn. Er zijn vier verschillende soorten waterstof:

1. Groene waterstof: waterstof gemaakt met energie uit een hernieuwbare bron die duurzaam is geproduceerd;
2. Blauwe waterstof: waterstof geproduceerd met een vervuilende energiebron waarvan de vrijgekomen CO₂ wordt afgevangen en opgeslagen. Wordt gemaakt met elektrolyse op kolen of aardgas maar is CO₂-neutraal;
3. Paarse waterstof: is waterstof gemaakt door middel van elektrolyse met kernenergie;
4. Grijs waterstof: waterstof geproduceerd met een vervuilende energiebron, door aardgas of kolen als grondstof te gebruiken waardoor er nog steeds CO₂ emissies zijn.

Naast energiedrager heeft waterstof meerdere toepassingen. Het kan als brandstof gebruikt worden voor bijvoorbeeld waterstofmotoren die al een paar jaar in gebruik zijn. Ook is het goed te gebruiken in industrieën waar hoge temperaturen nodig zijn omdat het een brandstof is waarbij veel energie vrijkomt tijdens verbranding. Het rendement van waterstof is slecht, ongeveer 50%. Dit geldt voor het opslaan van de energie en het afgeven ervan. Dit maakt waterstof op dit moment nog duur en inefficiënt maar het is een kansrijke ontwikkeling dus kunnen we in de toekomst een verhoging in rendement en een daling in prijs verwachten. Het Havenbedrijf Rotterdam heeft plannen om van de Rotterdamse haven in de toekomst hét Europees knooppunt van waterstof te maken.

Bron: Wikipedia Diwaterstof

Bron: Power to Flex 'Heeft waterstof echt de toekomst?'



Tesla-batterij

Bron: Eneco

-Batterijen (elektrisch):

Elektriciteit kan worden opgeslagen in batterijen. Elektriciteit wordt omgezet in chemische energie in de elektrochemische cellen waaruit de batterij bestaat. Batterijen zijn heroplaadbaar en dus kunnen de 'capsules' vaker gebruikt worden. Er bestaan ook wegwerpbatterijen maar die worden vaak gebruikt in kleine apparaten die weinig energie gebruiken. Net zoals waterstof is een batterij een energiedrager en heeft het vele toepassingen. Batterijen zijn op het moment populairder dan waterstof mede door het gebruikersgemak maar ook doordat de batterij al jaren door bijna elke persoon op aarde gebruikt wordt daarom zitten ze ook in elektrische autos. De snelle stijging in productie en verkoop van elektrische autos is hier een goed voorbeeld van. Het grootste nadeel van batterijen is de hoeveelheid energie die een individuele batterij bevat. Nieuwe ontdekkingen leiden nu al tot langer en beter werkende batterijen en dit zal in de toekomst blijven toenemen. Batterijen worden, wanneer ze niet gebruikt worden, beschouwd als chemisch afval. Als ze niet goed worden opgeruimd zijn ze vaak zeer milieuvervuilend.

Bron: Wikipedia Batterij (elektrisch)

5. Staand energiebeleid

Om het Akkoord van Parijs⁶ en het Rotterdamse klimaatbeleid⁷ dat op basis daarvan is ontwikkeld, uit te voeren, heeft het Havenbedrijf Rotterdam samen met Deltalinqs, de gemeente Rotterdam, regionale partners en de (proces)industrie plannen gemaakt. In het rapport van de werkgroep Industriecluster Rotterdam-Moerdijk 'In drie stappen naar een duurzaam Industrie Cluster'⁸ beschrijven ze in drie stappen hoe de haven in 2050 CO2 neutraal kan worden.

Stap 1 is gericht op het slim omgaan met de restwarmte die ontstaat uit industrie door bijvoorbeeld stadsverwarming of warmte te leveren aan de kassen in het Westland. Ook wil men efficiëntie- en optimalisatiemaatregelen realiseren. Om de CO2, die nu wordt uitgestoten, te minimaliseren is bijvoorbeeld het Porthos-project opgesteld waarmee de afvang, transport en hergebruik van de CO2 kunnen worden gerealiseerd. Het project zorgt voor basisinfrastructuur in het havengebied waarop bedrijven kunnen aansluiten om hun afgevangen CO2 te transporteren naar lege gasbubblen onder de Noordzee. Daar wordt het opgeslagen.

Stap 2 is gericht op het aanpassen van het huidige energiesysteem om het duurzamer te maken. Hierbij wordt gefocust op elektrificatie en de productie van waterstof. Op dit moment is de Rotterdamse haven nagenoeg de grootste producent en gebruiker van waterstof

Veel van deze waterstof wordt nog gemaakt op basis van aardgas (= grijze waterstof). Om in plaats van deze grijze waterstof groene

waterstof te gaan produceren moet er voldoende aanbod zijn van windenergie afkomstig van de windparken in de Noordzee. Deze energie zou dan vervoerd kunnen worden naar de waterstoffabriek op de Maasvlakte, waar grootschalig groene waterstof geproduceerd kan worden. De snelheid waarmee groene energie kan worden geproduceerd is bepalend voor de snelheid en omvang van de transitie naar elektrificatie in de industrie. Dit is één van de redenen dat de haven inzet op meer windparken op de Noordzee. Om waterstof massaal te kunnen gaan benutten moeten er veranderingen worden aangebracht in het bestaande infrastructuur (b.v. de leidingen en het elektriciteitsnet).

Stap 3 bevat het daadwerkelijk vervangen van fossiel brandstoffen voor het maken van chemische producten en brandstoffen. Dit wordt gedaan door middel van duurzaam geproduceerde waterstof, het inzetten van biomassa en de recycling van afval en restproducten.

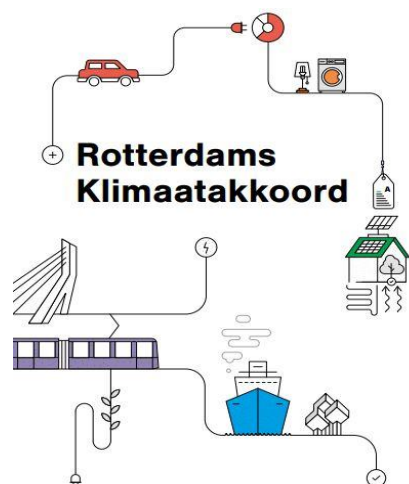
⁶ *European Parliament, 'International Climate Negotiations'*

⁷ *Gemeente Rotterdam 'Rotterdams Klimaatakkoord Haven en industrie'*

⁸ *werkgroep industriecluster Rotterdam-Moerdijk 'In drie stappen naar een duurzaam Industrie Cluster'*

Deze drie stappen zijn de basis geworden van het 'Rotterdamse Klimaatakkoord Haven en Industrie' (November 2019)⁹. Ook wordt er in dit akkoord aandacht gevraagd voor een arbeidsmarkt- en een scholingsagenda. De inschatting is namelijk dat nieuwe kennis en omscholing nodig zijn om banen in een post-fossiele wereld te vullen. Daarnaast wordt een zogeheten 'Versnellingshuis' ingezet om ideeën met potentie door eventuele barrières te helpen breken en ze te helpen te realiseren via betere en effectievere samenwerking tussen partijen zoals de gemeente, provincie, Havenbedrijf, etc.

Bron: Wuppertal Institut 'Decarbonization Pathways for the Industrial Cluster of the Port of Rotterdam'



Rotterdams Klimaatakkoord

Bron: Gemeente Rotterdam

⁹ Energieswitch Rotterdamse Klimaat Alliantie 'Rotterdamse Klimaatakkoord Haven en Industrie'

6. Projecten en plannen

Import en export van waterstof

De haven heeft plannen met Marokko en Portugal om groene waterstof, opgewekt via zonnepanelen, naar Nederland te importeren. Zo kan het hier weer door worden vervoerd dieper Europa in. Het Havenbedrijf wil hiermee de Rotterdamse haven hét knooppunt maken voor waterstof.

Bron: Port of Rotterdam 'Waterstof-Economie in Rotterdam start met Backbone'



De Rotterdamse haven als internationaal knooppunt voor waterstof

Bron: Port of Rotterdam

H-vision

Dit is een samenwerking tussen verschillende partijen in de regio Rotterdam. Samen vertegenwoordigen deze partijen de huidige waterstofketen van de haven, van productie tot vervoer. Het consortium ontwikkelt installaties voor de productie-centra in de petrochemische industrie en de elektriciteitssector. Conventionele brandstoffen kunnen dan vervangen worden door blauw geproduceerde waterstof.

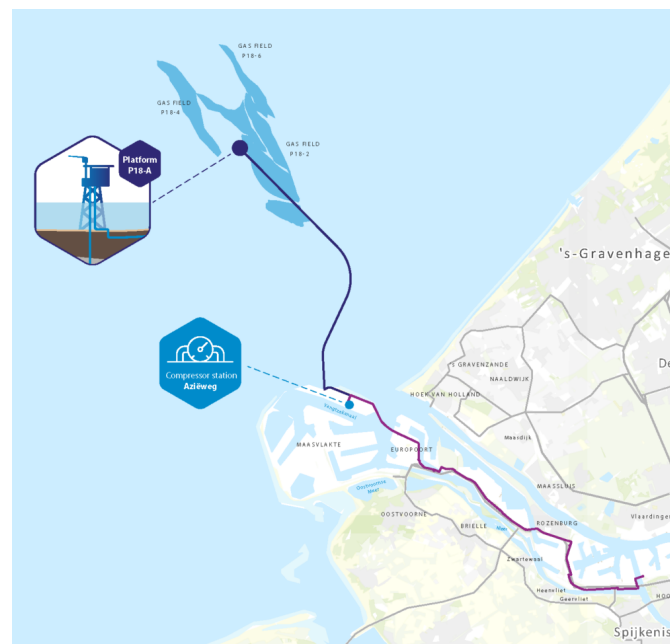
Bron: H-vision

Bron: Port of Rotterdam 'Waterstof-Economie in Rotterdam start met Backbone'

Porthos

Om de huidige uitstoot van de haven te neutraliseren is het Porthos (Port of Rotterdam CO2 Transport Hub and Offshore Storage)-project ontstaan. Door CO2 af te vangen voordat het in de lucht komt en deze afgevangen CO2 door te leveren aan de Porthos-verzamelleidingen kan het worden vervoerd naar een compressorstation op de Maasvlakte. Hier wordt de CO2 op druk gebracht zodat het getransporteerd kan worden naar zee. De CO2 wordt via leidingen naar een platform langs de kust gepompt waar het in lege gasvelden op ruim 3 km diep onder de bodem van de Noordzee wordt ondergebracht.

Bron: Porthosco2



Opslag van CO2 onder de Noordzee

Bron: Porthos

2GW elektrolyse conversie park

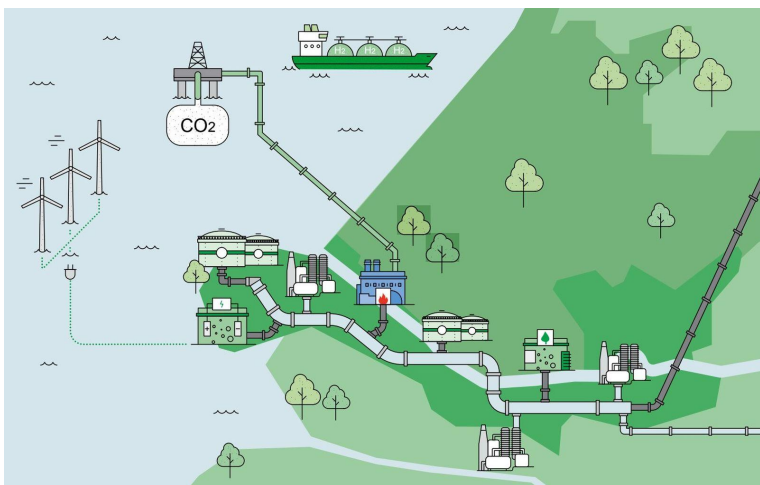
'Het eerste conversie-park voor waterstofproductie wordt in 2023 geopend op de Maasvlakte.' (Port of Rotterdam 'Waterstof-Economie in Rotterdam start met Backbone'). Hier zal massaal waterstof worden geproduceerd, wat vervolgens via de H2-backbone wordt vervoerd richting bedrijven en andere landen. In dit conversie park zullen eerst 150-250 MW electrolyzers gebruikt worden en hopelijk in 2025 de nog niet ontwikkelde 250 MW electrolyzers. Rotterdam heeft de ambitie om het centrum van elektrolyse-technologie te worden.

Bron: Port of Rotterdam 'Waterstof-Economie in Rotterdam start met Backbone'

H2-backbone-infrastructuur

Er komen hoofdtransportleidingen door de haven die alle aanbieders en afnemers van waterstof in de haven met elkaar zullen verbinden. Het zal zowel groene als blauwe waterstof vervoeren. De schatting is dat deze infrastructuur in 2023 gereed zal zijn.

Bron: Port of Rotterdam 'Waterstof-Economie in Rotterdam start met Backbone'



Waterstof infrastructuur

Bron: H2Platform

Walstroom

Walstroom is wanneer een schip aan de kade gebruik maakt van het elektriciteitsnet door middel van een aansluiting aan de wal. Schepen gebruiken normaliter hun eigen generatoren om elektriciteit op te wekken. Deze generatoren draaien op diesel, zijn zeer vervuילend en zorgen voor geluidsoverlast.

Daarom is er al een paar jaar een initiatief om aan alle aangemeerde schepen een uniforme energiebron aan te bieden waardoor ze tijdens de periode dat ze in de haven liggen duurzaam energie kunnen gebruiken.

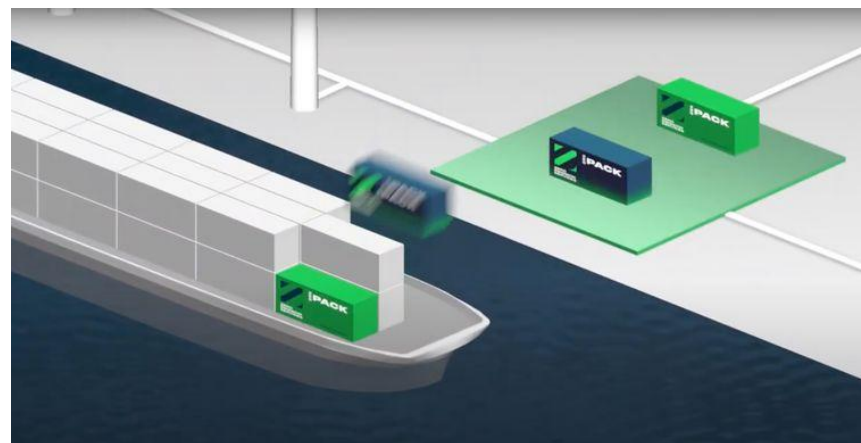
Bron: Wikipedia Walstroom

Binnenvaart

Alle binnenvaartschepen die voldoen aan de platinum label van de Green Award krijgen 100% korting op hun binnenhavengeld. Dit houdt in dat ze moeten varen op waterstof of minimaal 3 uur per dag op elektriciteit. Dit project is bedacht om bedrijven te pushen de stap naar duurzamer varen te maken. De financiële korting maakt de investering aantrekkelijker en dekt deels de extra kosten, die ze in het begin moeten maken.

Bron: Keynote speech Allard Castelein Energy in Transition Summit 2018

Bron: Green Award 'Over Green Award'



Elektrische innenvaart Zes project

Bron: Trouw

7. Toekomstige innovaties

Hy-Trucks

'In 2005 startte Hytruck als een klein project in de IJmond om te onderzoeken wat de mogelijkheden waren om waterstof als brandstof voor transportactiviteiten te gebruiken.' (*hytruck*). Ondertussen is het gelukt om een distributietruck te realiseren die met een combinatie van batterijen en brandstofcellen is uitgerust. Dit wordt aangevuld met elektrische wielmotoren. In 2018 werd er door de inland transportsector van de haven zon 2,25 MT aan CO₂ uitgestoten. Een elektrisch transportvoertuig zou hier de oplossing voor kunnen zijn. Voor hun innovatieve idee werd het Hytruck project in 2007 beloond met de Innovation Award.

Bron: Hytruck over-hytruck

Bron: Port of Rotterdam 'De haven van Rotterdam CO₂ neutraal'



Metal fuel installatie

Bron: Financieele Dagblad



Waterstof truck

Bron: H2 Platform

Metal fuels

Metal fuels zijn metalen die als brandstof worden gebruikt, in dit geval de verbranding van ijzerpoeder. Een studententeam van de Technische Universiteit Eindhoven werkt samen met leraren en oud-studenten aan de eerste industriële proefinstallatie voor verbranding van ijzerpoeder. De installatie is uitgetest bij de brouwerij van Bavaria in Lieshout. Door het in de praktijk uit te testen konden ze laten zien hoe het werkte en kon getest worden of het daadwerkelijk kan worden toegepast in warmte-intensieve industrieën, industrieën die ook veel in de haven van Rotterdam aanwezig zijn.

De installatie is CO₂-vrij en produceert nu zo'n 1000 KW aan energie. Het ijzerpoeder, wat na verbranding roestpoeder vormt, kan na reactie samen met waterstof weer worden omgezet tot ijzerpoeder. Dit maakt het circulair. Processen voor het elektriciteitsnet hebben op het moment een rendement van 61,5% met 65% in de nabije toekomst. Voor verwarmings-processen ligt het rendement rond de 50%. Mogelijke toepassingen van deze technologie na 2030 zijn warmteproductie, elektriciteitscentrales en kleinschalig zeevrachtvervoer.

Bron: Het Financieele Dagblad 'Naar ijzersterk alternatief voor fossiel'

Nuclear Microreactors

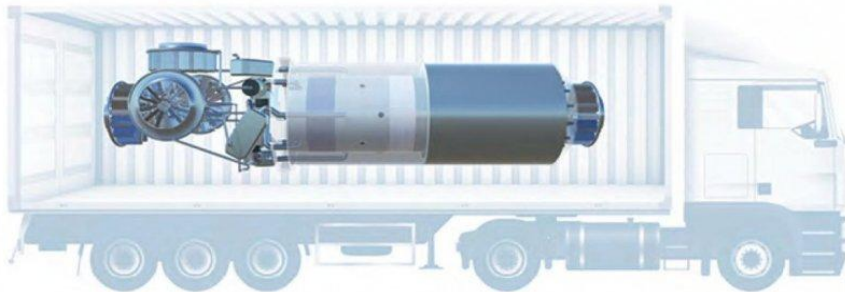
Nucleaire Microreactors hebben drie hoofdkenmerken;

-Gemaakt in een fabriek: alle componenten worden in een fabriek gemonteerd en de reactor wordt in zijn geheel naar locatie vervoerd. Dit reduceert het nodige start-vermogen en zorgt voor een snellere installatie.

-Vervoerbaar: het kleine design maakt het mogelijk om de reactoren makkelijk te vervoeren via truck, schip of vliegtuig.

-Zelf regulerend: een simpel en toegankelijk design zou de reactoren zelfstandig maken. Door middel van passieve verdedigingssystemen zal de reactor een mogelijke oververhitting of meltdown voorkomen. Doordat het makkelijk in gebruik is heb je geen deskundigen of grote beveiligingsmaatregelen nodig. Hoewel prototypes verschillen, kunnen de meeste microreactoren zowat 1-20 MW aan schone energie produceren, die als directe warmte of elektriciteit gebruikt kan worden. Mogelijke toepassingen zijn noodbronnen van energie, aandrijving voor vrachtschepen of de onzichtbare integratie van hernieuwbare energie in een micro elektriciteitsnet.

Bron: U.S. Department of Energy 'the Ultimate fast facts guide to Nuclear Energy'



Microreactor

Bron: US Department of Energy

Bioplastics

Bioplastic is een term voor twee vervangers van traditioneel gemaakt plastic. Biobased plastic is plastic gemaakt uit natuurlijke producten, ze zijn alleen niet altijd biologisch afbreekbaar.

Biologisch afbreekbaar plastic is wel altijd biologisch afbreekbaar maar niet altijd gemaakt van natuurlijke producten.

Bioplastic stoot bij productie minder broeikasgassen uit dan fossiel plastic omdat het bij lagere temperaturen wordt gemaakt. Ook is het minder schadelijk voor de natuur.

Bron: Wikipedia Bioplastic



Bioplastic

Bron: Packaging Insight

8. Ontwikkelingen elders

Tijdens de interviews heb ik de geïnterviewden gevraagd of ze goede voorbeelden kenden van landen die de energietransitie goed aanpakken. Voorbijkomende landen waren:

Costa Rica

Hier zet men in op circulaire systemen en een zo klein mogelijke footprint. De regering begon met het redden van de natuurgebieden op Costa Rica. Na het beschermen van deze gebieden begon de regering haar duurzaamheids aanpak op andere problemen te richten waardoor het land heel bewust inzet op duurzaamheid.

Bron: Interview Reinier Zeldenrust

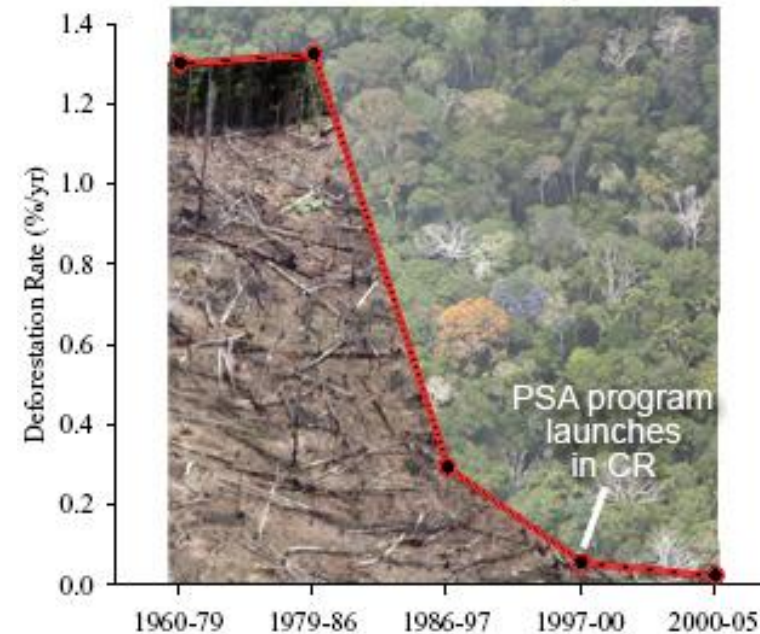
Duitsland

Duitsland heeft een sterk duurzaamheidsbeleid, waar groot op wordt ingezet. Men is zich vooral aan het focussen op zonne- en windenergie. Zo'n 23,4% van de jaarlijkse geproduceerde energie komt uit hernieuwbare bronnen en 15,4% uit nucleaire energie.

Bron: Duitslandinstituut overzicht

Bron: Interview Michiel Nijdam

Deforestation rate in Costa Rica, 1960-2005



Costa Rica ontbossing

Bron: Government Costa Rica

Noorwegen

96% van alle elektriciteit geproduceerd in Noorwegen is geproduceerd met waterkracht. Door de vele hoogteverschillen kunnen stuwdammen worden aangelegd, als waterkrachtcentrales.

Bron: Interview Kees Joosten



Waterkrachtcentrale Noorwegen

Bron: Milieu Centrale

Frankrijk

Dit vond ik persoonlijk erg interessant. In 2012 kwam 75% van de totale energietoevoer in Frankrijk uit kerncentrales, dat is meer dan 15% van de toenmalige wereldproductie. Met de prijsverlaging van duurzame energiebronnen is Frankrijk meer gaan investeren in duurzame energie en er zal dus in de toekomst meer energie uit biomassa, zonnecentrales of windparken komen.

Bron: Nos-france 'energiemix in Frankrijk gericht op zekerheid, duurzaamheid en betaalbaarheid'

9. Meningen en Kritiek

Ik heb de volgende punten van kritiek op de hier aangehaalde plannen: ondanks de plannen van de Rotterdamse haven is de CO₂-uitstoot in de laatste paar jaren blijven groeien en zijn door industriële partijen in de haven nieuwe vervuilende activiteiten opgestart. Iedereen die ik over dit onderwerp heb gesproken was het erover eens dat we niet snel genoeg veranderen. Dat vond ik interessant en tegelijk beangstigend om te horen.

Professor Harry Geerlings was bijzonder open over zijn kritiek, hij vond dat de transitie een leider mist. Hierover ben ik het eens, ondanks dat er veel wordt geïnvesteerd in nieuwe projecten en groene energie. Als leider moet je niet alleen het goede voorbeeld geven maar ook de hulp aanbieden die anderen nodig hebben om zich aan te passen. Het Havenbedrijf Rotterdam kan er natuurlijk voor kiezen om geen leidende functie aan te pakken, maar als belangrijk knooppunt zou het passend zijn wanneer ze het wél zouden doen. Verder had meneer Geerlings commentaar op het gebruik van diepzee CO₂ opslag en de grote inzet op waterstof. Volgens hem zijn dit tijdelijke oplossingen die het probleem niet verhelpen. Hoe sneller de Rotterdamse haven zich aanpast aan de nieuwe omstandigheden des te sneller kan de haven doorgroeien in de nieuwe economie. Dat de Rotterdamse haven zo efficiënt is zou een tijdelijk voordeel opleveren maar zo kan het ontstaan dat de haven als een van de laatste bastions overblijft van fossiele energie. De efficiënte inrichting van de Rotterdamse haven kan nog een tijdje concurrentievoordelen opleveren, maar kan de haven ook op achterstand zetten. Innovatie is immers niet direct nodig. Op

termijn kan dit de positie en duurzaamheid van de haven verslechteren.

CO₂-opslag in gasvelden Barendrecht



CO₂-opslag in gasvelden Barendrecht

Bron: Reformatorisch Dagblad

Twee andere geïnterviewden vonden waterstof een te late oplossing of zagen het niet van de grond komen. Dit bewijst weer dat het geen 'echte' oplossing is voor het probleem. Biomassa is hier ook een goed voorbeeld van. Volgens internationale richtlijnen telt biomassa niet mee bij de uitstoot van een land. Dit is raar, aangezien het hout of ander materiaal ergens vandaan moet komen. Biomassa kan schadelijk zijn voor de natuur wanneer de biomassa bijvoorbeeld uit een speciaal daarvoor gekapt bos komt.

Onderzoek naar nieuwe materialen is iets wat ik mis in het plan van het Havenbedrijf. Beton waarbij minder CO₂ vrijkomt, grafeen, ijzerpoeder en configureerbare materialen zijn voorbeelden van veelbelovende materialen die in de toekomst complete processen kunnen gaan veranderen. Nieuwe materialen zouden makkelijker te maken kunnen zijn, minder uitstoot hebben of sterker zijn, er zijn oneindig veel mogelijkheden. Het Havenbedrijf hanteert nu een 'hagel strategie' met hun onderzoek. Ze laten duizend bloemen groeien en hopen dat er iets moois opkomt, maar nieuwe materialen zie je hier nauwelijks in terug.

De menselijk factor krijgt mijns inziens onvoldoende aandacht. Ondanks de herscholing en nieuw talent aanboren blijven mensen imperfect. Door processen zoveel mogelijk te automatiseren zouden ze waarschijnlijk efficiënter worden en daarmee energievriendelijker.

De 100% korting op het binnenhavengeld voor boten met een Green Award is mijns inziens. Dit promoot groen vervoer op een positieve manier. De plannen die de haven heeft gaan er vanuit dat de bedrijven in de haven autonoom kunnen handelen.



Biomassa gemaakt uit gekapte bossen Bron: Omroep Fryslan

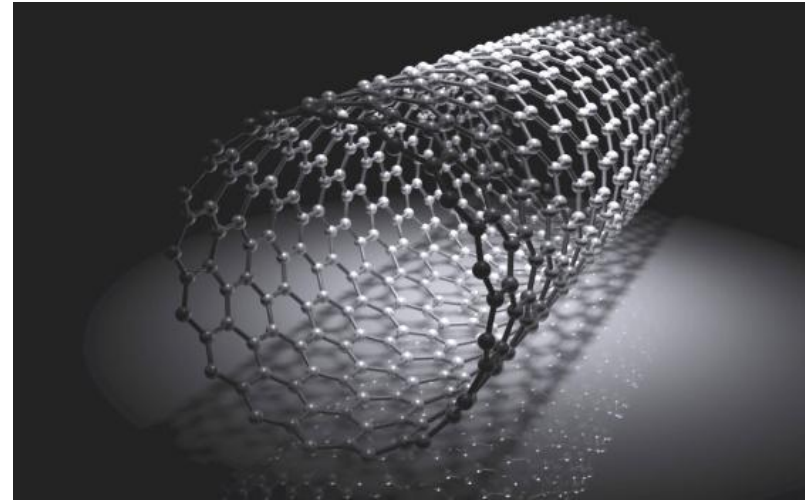
De meeste van deze bedrijven zijn echter deel van wereldwijd opererende conglomeraten en hebben dus in hun eentje weinig invloed. Positieve acties zoals die voor binnenhavengeld zouden kunnen helpen met beïnvloeden van deze mega bedrijven.

Concluderend vind ik dat de haven goed opweg is naar een CO₂ neutraal 2050. Ze heeft een breed portfolio aan projecten en plannen en commitment om duurzamer te worden. Ik vind dat dit moet worden omgezet in meer initiatieven en dat de kern van het probleem meer moet worden aangepakt. Bijvoorbeeld bij het afvangen en opslaan van CO₂ onder de Noordzee. Dit biedt nog geen antwoord op mijn probleemstelling. Ik ben erachter gekomen dat dat ook niet te geven is. Daarom schets ik in het onderstaande scenario een combinatie van oplossingen (technologieën) die een antwoord zouden kunnen bieden.

10. Toekomstscenario

In 2018 gebruikte de haven voor haar productieprocessen zo'n 260 PJ aan energie. Vergelijken met het totale energieverbruik in Nederland dat jaar is dat zo'n 8,4% van het totaal. Als je al deze energie volledig met zonne energie zou bevoorraden en je gaat uit van een zonnepaneel met de huidige Nederlandse productie dichtheid van 1 GWh per jaar per hectare (*Wikipedia Zonne-energie*), dan zou je zo'n 722.000 zonnepanelen en 722.000 hectare aan grond nodig hebben. Nederland is ongeveer 41.500 hectare groot, dus dat is ongeveer 5.7% van de alle ruimte. Als we zoveel zonnepanelen zouden neerzetten, dan zouden we de hele Benelux plus Frankrijk compleet kunnen bedekken met zonnepanelen en dan zou het nog steeds niet genoeg zijn. Daarom is integratie van verschillende en betrouwbare energiebronnen noodzakelijk. Kijkend vanuit de probleemstelling 'Hoe kan de haven van Rotterdam bijdragen aan het realiseren van een CO2-neutraal 2050?' heb ik het volgende scenario geschreven over hoe ik de haven en Rotterdam zie in het jaar 2050.

In 2050 zal alles meer verbonden zijn dan ooit maar tegelijk ook meer zelfstandig. Gemeenten en bedrijven zullen minder afhankelijk zijn van het elektriciteitsnetwerk en zullen grotendeels hun elektriciteit lokaal opwekken door middel van zon en wind. Zelfs grote steden zijn niet meer afhankelijk van centrales voor hun energie, maar 'levende batterijen'. Het gebruik van elektrische auto's of bussen als tijdelijke reserve-opslag voor het netwerk is al vaker genoemd en zal heel nuttig blijken. Zo haal je de pieken uit het energieverbruik. Je zou bijvoorbeeld op je telefoon kunnen



Toepassing van een nieuw materiaal grafeen Bon: Eugene Sergeev

aangeven wanneer je wil vertrekken en hoelang je wilt rijden, ondertussen kan je auto als reservebatterij worden gebruikt.

De kachels in en om Rotterdam zullen voornamelijk warm gehouden worden met stadsverwarming, die zijn warmte krijgt van overtollige warmte uit de haven-industrie. Op de Maasvlakte is de waterstoffabriek onafgebroken bezig met het produceren van waterstof die wordt doorgeleid naar het achterland. Verdere import van waterstof uit zonnigere landen zoals Marokko, waar een groot deel van de Sahara woestijn is afgebakend met zonnepanelen vult het netwerk aan. Biomassa, fossiel plastic en fossiele brandstoffen zijn verdwenen en zijn vervangen door efficiëntere of betere mogelijkheden. Nieuw bioplastiek heeft het Rotterdamse chemie-industrie gebied compleet veranderd tot een

neo-chemie-industrie. Hier worden alleen nog maar afbreekbare producten geproduceerd.

Op de achtergrond zie je grote hoeveelheden ijzerpoeder de machines ingaan om ze in beweging te houden. Na gebruik wordt het poeder vervoerd naar een oplaadpunt waar het met waterstof weer wordt omgezet in ijzerpoeder en vervolgens wordt teruggevoerd naar de machine van herkomst.

Het is een compleet circulair systeem waar bijna alles wordt her- of opgebruikt. Alle processen in de haven zijn aangepast op deze maximale circulariteit.

Op zee, midden in het anti-vis gebied, staan rijen windmolens met grote scholen vis die tussen de pilaren door zwemmen. Deze reuzen draaien dag in dag uit en leveren energie aan de waterstoffabriek op de Maasvlakte.

Stil en onopvallend als een elektriciteitskast staan microreactoren verspreid over de stad Rotterdam. Deze reactoren bevoorraden de stad met groene stroom op een autonome manier. Zelfs in het geval van storingen in het netwerk zullen de microreactoren ongestoord hun ding blijven doen.

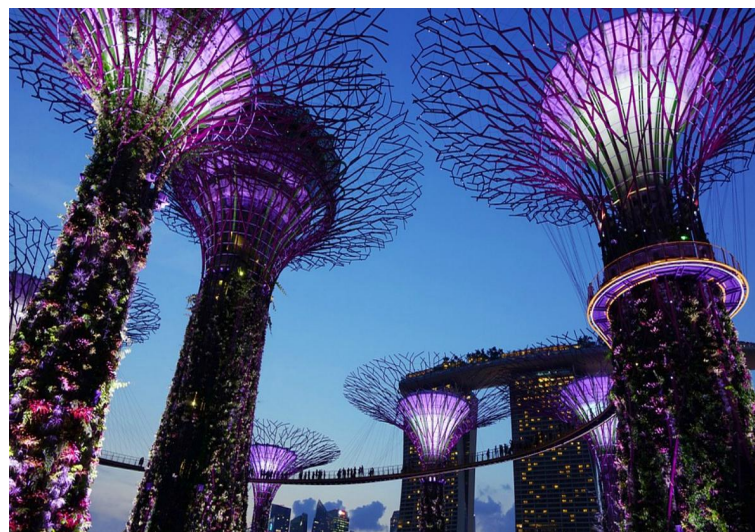
Aan de kade liggen grote vrachtschepen, met kabels verbonden aan het elektriciteitsnetwerk om geen onnodige energie te verbruiken. Binnen het schip zijn combinaties van microreactoren, batterijen en waterstof fuel cells te zien die het schip aandrijven. De schepen lijken ook lichter op het water te liggen, doordat ze gemaakt zijn van een nieuw materiaal, even sterk als staal maar lichter. Net zoals het plastic zijn alledaagse materialen veranderd. Muren die je kan hervormen tot een vloer of voer wat de stikstof-reactie in vee voorkomt, bleken zeer belangrijk in de strijd tegen aardopwarming.

Computers en A.I. hebben veel werk overgenomen of versimpeld en helpen volop mee om steeds nieuwe materialen of technieken te zoeken.

Dit is een 2050 waarin we als mens meer zelfstandig zijn maar ook meer keuzes hebben in ons doen en laten. We weten dat ondanks dat alles verbonden is, wanneer er iets fout gaat de huidige systemen autonoom kunnen handelen of het kunnen oplossen. Dit is een toekomst met meer zekerheid waarin we ook minder afhankelijk zijn van andere landen voor grondstoffen. Het is een complexe toekomst die ik voor me zie. Alles wat ervoor nodig is, zijn bereidheid om verandering te omarmen en investeren in een schonere aarde.

Bron: werkgroep industriecluster Rotterdam-Moerdijk 'In drie stappen naar een duurzaam Industrie Cluster'

Bron: Rijksoverheid 'Energieverbruik per sector, 1990-2018'



Singapore

Bron: State of Singapore

Discussie

Mijn toekomstbeeld is ontstaan uit een combinatie van oplossingen en ideeën, besproken in dit rapport. Door het probleem van zoveel mogelijk kanten te bekijken heb ik hopelijk een zo breed mogelijk beeld geschetst wat tegelijk realistisch is. De nadruk op nieuwe materialen komt voort uit de grote potentie ervan en de grote kans dat er in de nabije toekomst nieuwe uitvindingen zullen worden gedaan.

Mijn keuze voor groene energie komt voort uit de verschillende rollen die elke soort energie heeft en de bruikbaarheid in Nederland. Een stuwdam zonder hoogteverschil heeft immers niet zo'n zin.

Het circulair maken van systemen is een natuurlijk bijproduct van de verduurzaming. Zonder slimmer om te gaan met onze grondstoffen kunnen we de aardopwarming niet tegen gaan.

Mijn onderzoek volgend raad ik de haven aan meer te investeren in onderzoek naar nieuwe materialen en mobiele energiebronnen zoals microreactoren. Ook ijzerpoeder is veelbelovend en ik denk dat het een cruciale rol kan gaan spelen in de energietransitie.

Bronnen:

Artikelen

Castelein, A. (2018 11 april). Keynote speech Allard Castelein Energy in Transition Summit 2018. Geraadpleegd op 13 september 2020.
https://www.youtube.com/watch?v=gtAT7EM-u9Q&ab_channel=PortofRotterdam

Energieswitch Rotterdamse Klimaat Alliantie (2019 13 november). Rotterdams Klimaatakkoord Haven en industrie, gemeente Rotterdam. Geraadpleegd op 11 december 2019.
https://energieswitch010.nl/application/files/6215/7434/0709/20191121_Klimaatdeals_Haven_en_industrie.pdf

Moosmann, L. Urrutia, C. Siemons, A. Cames, M. Schneider L. (2019 november). International Climate Negotiations, European Parliament. Geraadpleegd op 29 november 2020.
[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2019/642344/IPOL_STU\(2019\)642344_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2019/642344/IPOL_STU(2019)642344_EN.pdf)

Office of Nuclear Energy (2018). The ultimate fast facts guide to Nuclear Energy, U.S. department of Energy. Geraadpleegd op 22 augustus 2020.
<https://www.energy.gov/sites/prod/files/2019/01/f58/Ultimate%20Fast%20Facts%20Guide-PRINT.pdf>

Port of Rotterdam (2019). Haven van Rotterdam CO2 neutraal, Port of Rotterdam. geraadpleegd op 16 september 2020.
<https://www.portofrotterdam.com/sites/default/files/haven-van-rotterdam-co2-neutraal.pdf>

Port of Rotterdam (2018 juli). Waterstof-economie in Rotterdam start met Backbone, Port of Rotterdam. Geraadpleegd op 31 augustus 2020.
<https://www.portofrotterdam.com/sites/default/files/waterstofeconomie-in-rotterdam-factsheet.pdf?token=-ZrjwJcp>

Samadi, S. Lechtenböhmer, S. Schneider, C. Arnold, K. Fishedick, M. Schuwer, D. Pastowski, A. (2016 oktober). Decarbonization Pathways for the Industrial Cluster of the Port of Rotterdam, Port of Rotterdam. Geraadpleegd op 29 November 2019.
<https://www.portofrotterdam.com/sites/default/files/rapport-decarbonization-pathways-for-the-industrial-cluster-of-the-port-of-rotterdam.pdf>

van Kooij, E. (2012 februari). Frankrijk: duurzame energie is kiezen voor de toekomst, Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. Geraadpleegd op 31 augustus 2020.

<https://www.rvo.nl/sites/default/files/bijlagen/Frankrijk%20-%20duurzame%20energie%20is%20kiezen%20voor%20de%20toekomst.pdf>

Werkgroep Industriecluster Rotterdam-Moerdijk aan het Hoofdlijnen Pakket voor het klimaatakkoord (2018 13 juli). In drie stappen naar een duurzaam industriecluster Rotterdam-Moerdijk in 2050, Port of Rotterdam. Geraadpleegd op 15 augustus 2019.

<https://www.portofrotterdam.com/sites/default/files/in-drie-stappen-naar-een-duurzaam-industriecluster-rotterdam-moerdijk-in-2050.pdf?token=nUYiyTOs>

Internetpagina's

Boudesteijn, J. Beers, E. Dekker, M. (2005). Hytruck our mission zero emission, hytruck. Geraadpleegd op 10 januari 2021.

<http://www.hytruck.nl/over-hytruck/>

Green Award (2020). Over Green Award, Green Award.

Geraadpleegd op 28 november 2020

<https://www.greenaward.org/inland-shipping/nl/about-green-award/>

H-vision. Snel, grote hoeveelheden CO2 reduceren met waterstof, h-vision. geraadpleegd op 10 januari 2021.

<https://www.h-vision.nl/>

Laaning, H. de Jong, S. (2020 12 maart). Heeft waterstof echt de toekomst?, Power to Flex. Geraadpleegd op 5 september 2020.

https://issuu.com/powertoflex/docs/magazine_power_to_flex_nl_pdf

Rijksoverheid (2019 8 augustus). Energieverbruik per sector, 1990-2018; clo. Geraadpleegd op 10 januari 2021.

<https://www.clo.nl/indicatoren/nl0052-energieverbruik-per-sector#:~:text=Het%20Nederlandse%20energieverbruik%20schommelt%20al,van%20het%20totale%20Nederlandse%20energieverbruik.>

Stichting Duitsland Instituut (2020). Economie: overzicht energievoorziening, duitlandinstituut. Geraadpleegd 28 december 2020.
<https://duitslandinstituut.nl/naslagwerk/268/overzicht>

Stooker, C. (2021 2 januari). Naar ijzersterk alternatief voor fossiel, Het Financieel Dagblad. Geraadpleegd op 6 januari 2021.

Porthos Development C.V. (2020). Porthos CO2 Transport & Storage, porthosco2. Geraadpleegd op 29 november 2020.
<https://www.porthosco2.nl/>

Wikipedia-bijdragers (2020 30 december). Batterij (elektrisch); wikipedia, de vrije encyclopedie. Geraadpleegd op 5 januari 2020.
[https://nl.wikipedia.org/wiki/Batterij_\(elektrisch\)#Wegwerp batterijen](https://nl.wikipedia.org/wiki/Batterij_(elektrisch)#Wegwerp batterijen)

Wikipedia-bijdragers (2020 14 november). Bio-energie; wikipedia, de vrije encyclopedie. Geraadpleegd op 28 november 2020.
<https://nl.wikipedia.org/wiki/Bio-energie>

Wikipedia-bijdragers (2020 15 december). Bioplastic; wikipedia, de vrije encyclopedie. Geraadpleegd op 4 januari 2021.
<https://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Speciaal:Citeren&page=Bioplastic&id=57755358&wpFormIdentifier=titleform>

Wikipedia-bijdragers (2020 1 september). Club van Rome; wikipedia, de vrije encyclopedie. Geraadpleegd op 31 augustus 2020.
https://nl.wikipedia.org/wiki/Club_van_Rome

Wikipedia-bijdragers (2020 29 augustus). Diwaterstof; wikipedia, de vrije encyclopedie. Geraadpleegd op 5 september 2020.
<https://nl.wikipedia.org/wiki/Diwaterstof>

Wikipedia-bijdragers (2020 13 november). Kernenergie; wikipedia, de vrije encyclopedie. Geraadpleegd op 3 december. 2002.
<https://nl.wikipedia.org/wiki/Kernenergie>

Wikipedia-bijdragers (2020 8 november). Radioactief afval; wikipedia, de vrije encyclopedie. Geraadpleegd op 3 december 2020.
https://nl.wikipedia.org/wiki/Radioactief_afval

Wikipedia-bijdragers (2020 10 november). Svante Arrhenius; wikipedia, de vrije encyclopedie. Geraadpleegd op 31 augustus 2020.

https://nl.wikipedia.org/wiki/Svante_Arrhenius

Wikipedia-bijdragers (2020 16 december). Walstroom; wikipedia, de vrije encyclopedie. Geraadpleegd op 28 december 2020.

<https://nl.wikipedia.org/wiki/Walstroom>

Wikipedia-bijdragers (2020 17 september). Waterkracht; wikipedia, de vrije encyclopedie. Geraadpleegd op 20 september 2020.

<https://nl.wikipedia.org/wiki/Waterkracht>

Wikipedia-bijdragers (2020 16 augustus). Windenergie; wikipedia, de vrije encyclopedie. Geraadpleegd op 31 augustus 2020.

<https://nl.wikipedia.org/wiki/Windenergie#:~:text=Windenergie%20is%20energie%20die%20gewonnen,of%20om%20water%20te%20verpompe>
[n](#).

Wikipedia-bijdragers (2020 27 augustus). Zonne-energie; wikipedia, de vrije encyclopedie. Geraadpleegd op 31 augustus 2020.

<https://nl.wikipedia.org/wiki/Zonne-energie#:~:text=Zonne%2Denergie%20is%20energie%20van,alle%20hernieuwbare%20energie%20op%20Aarde>.

