

Energietransitie en circulariteit: onlosmakelijk met elkaar verbonden

Dr. ir. Gijsbert Korevaar



Energietransitie en circulariteit: onlosmakelijk met elkaar verbonden

Dr. ir. Gijsbert Korevaar

Lector Circulaire Energietransitie

Rotterdam, 31 januari 2023



Hogeschool Rotterdam Uitgeverij

1e druk, 2022

Dit boek is een uitgave van Hogeschool Rotterdam Uitgeverij
Postbus 25035
3001 HA Rotterdam

© Gijsbert Korevaar

Ontwerp
Jargo Design

Omslagfoto: Shutterstock.com

ISBN: 9789493012356



9 789493 012356 >

De copyrights van de afbeeldingen (figuren en foto's) berusten bij Hogeschool Rotterdam en de makers tenzij anders vermeld.

Deze publicatie valt onder een Creative Commons Naamsvermelding-Niet Commercieel-GelijkDelen 4.0 Internationaal-licentie.



Inhoud

Inleiding	5
1. Energie en grondstoffen in de knel	7
2. Circulaire energietransitie	11
Circulariteit van de energietransitie en grondstoffentransitie	11
Definiëring en fasen	12
Internationale ambitie: RePowerEU	13
Energietransitie	16
Grondstoffentransitie	18
Tot slot	19
3. Context van de circulaire energietransitie	21
Duurzame ontwikkeling versus duurzaamheid	21
Klimaatakkoord en het Rotterdamse haven-industrieel complex	24
Samen duurzaam	25
Human Capital Agenda	26
Samenspel tussen alle elementen in het veld	26
4. Onderzoek in de praktijk van de Rotterdamse industrie	29
Ontwerpgericht onderzoek	29
Onderzoek naar nieuwe stoomproductie: van aardgas naar waterstof	31
Onderzoek naar productie van biobrandstof op basis van organisch afval	32
Onderzoek naar de circulaire batterij van de toekomst	34
De rigor cycle en design cycle binnen het Instituut voor Engineering and Applied Science	36
Tot slot	38
5. Lectoraat en de circulaire energietransitie	39
6. Literatuurlijst	40
7. Over de auteur	42
8. Dankwoord	43

Inleiding

Elke keer als ik vertel dat ik als lector in Rotterdam en als universitair docent in Delft bezig ben met duurzaamheid, is de reactie positief. Ik krijg dan opmerkingen als: 'Dat is een actueel onderwerp', 'Goed dat je daaraan werkt' en: 'Het is hard nodig dat er wat gebeurt.' Er is een breed gedragen besef in de samenleving dat het roer echt om moet. Wij als samenleving zullen op een andere manier met onze grondstoffen moeten omgaan, we zullen op een andere manier invulling moeten gaan geven aan de energiebehoefte.

Er is duidelijk een besef van de urgentie, maar tegelijkertijd is er de onduidelijkheid over de manier waarop. Dat er wat moet gebeuren, staat voor de meeste mensen wel vast. Al was het alleen al doordat zij 'onduurzaamheid' in hun portemonnee voelen. Maar wat er dan precies moet gebeuren en welke rol praktijkgericht onderzoek daarbij kan spelen, blijft vaak minder helder omschreven.

Mijn expertise in onderzoek en onderwijs bestaat uit het samenbrengen van meerdere disciplines en aandachtsgebieden. Ik gebruik daar graag de term symbiose voor. De term symbiose is afgeleid van de Griekse woorden voor 'samen' en 'leven'. Symbiose in de natuur betekent dat twee soorten samenleven en elkaar bevoordelen. Dit doortrekkend naar mijn onderzoeksveld van de 'industriële symbiose' betekent dit het streven om verschillende sectoren of verschillende soorten bedrijven te laten samenwerken, zodat er minder milieudruk ontstaat.

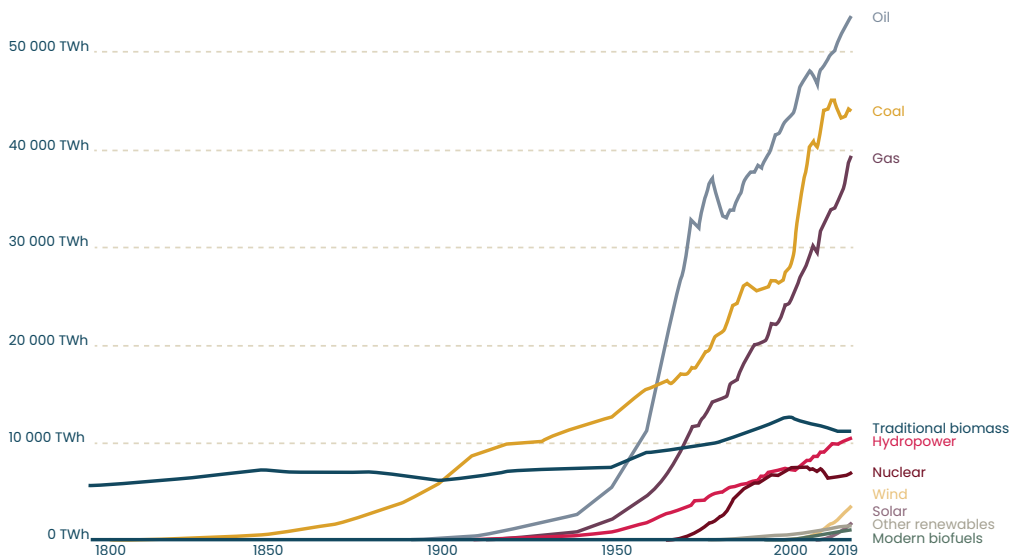
In deze openbare les schets ik de hoofdlijnen waarlangs we als onderzoekers de twee problemen van de grondstoffenschaarste en de energiecrisis tegelijkertijd kunnen aanpakken. Daar ligt een enorme uitdaging voor het bedrijfsleven en voor de overheid. Het onderwijs en het praktijkgerichte onderzoek aan Hogeschool Rotterdam kunnen bijdragen aan het oplossen van die uitdagingen, door 'duurzame professionals' op te leiden: professionals die in staat zijn om de laatste trends in technologie en maatschappij te duiden en tegelijkertijd in staat zijn om de nieuwste technologieën op een succesvolle manier in te zetten voor een duurzame samenleving.

Deze openbare les heeft de volgende opbouw. Eerst vertel ik meer over waar je aan moet denken als het gaat om grondstoffenschaarste en energiecrisis. Dit leidt tot het hoofdthema, waarin ik laat zien waarom er een 'circulaire energietransitie' nodig is. Na de schets van de context van de circulaire energietransitie laat ik zien wat voor soort geïntegreerde oplossingen het praktijkgerichte onderzoek binnen ons Kenniscentrum Duurzame Havenstad kan opleveren. Mijn betoog eindigt met een korte reflectie op het geheel en een aantal handvatten voor de komende jaren van mijn lectoraat.

In het volgende hoofdstuk zal ik nu eerst toelichten hoe energie en grondstoffen steeds meer in de knel komen door de snel veranderende energievraag en de noodzaak van circulair beheer van de grondstoffen.

Energie en grondstoffen in de knel

Onze samenleving maakt een versnelde energietransitie door. De druk om te veranderen is door de stijgende energieprijzen en de toenemende en onomkeerbare klimaatverandering ongekend hoog. De huishoudens ondervinden de stijging van de energiekosten aan den lijve door de hoge gasprijs en de daarmee samenhangende hoge elektriciteitsprijs. Het bedrijfsleven zoekt naar wegen om de productie in stand te houden terwijl de kosten voor energie en grondstoffen steeds maar verder stijgen. Daarbovenop komt de uitdaging van het vinden van de juiste richting die de energietransitie moet inslaan en de mogelijkheden voor verdergaande verduurzaming in deze onzekere context. Bijvoorbeeld, ligt de oplossing in het zo vlug mogelijk zorgen dat de hele industrie omschakelt naar waterstof? Of moet de industrie veel flexibeler worden in haar energievraag, zodat zij kan meebewegen met de fluctuaties in de hoeveelheid opgewekte energie uit zon en wind? En hoe maak je de juiste keuze tussen deze verschillende richtingen?



Figuur 1 Ontwikkeling van het gebruik van primaire energiebronnen sinds 1800 (Our World in Data, z.d.)

Een versnelde of onzekere energietransitie is op zich niet nieuw. Het historisch overzicht van de ontwikkelingen in het gebruik van primaire energiebronnen sinds 1800 in Figuur 1 (Our World in Data, z.d.) laat meerdere verschuivingen zien van de ene energiebron naar de andere. Ook in het verleden ging dat trouwens met pieken en dalen gepaard. Figuur 1 toont hoe in eerste instantie *traditional biomass* (voor het grootste deel bestaand uit hout) aan het begin van de twintigste eeuw werd vervangen door steenkool. Steenkool is ingehaald door aardolie sinds het interbellum. Kolen en olie, samen met als nieuwkomer sinds de tweede helft van de twintigste eeuw, aardgas, bepalen nog steeds de energiemarkt.

Sommige energietransities waren het gevolg van het beschikbaar komen van een technologische innovatie, zoals bij de overgang van stoommachines naar verbrandingsmotoren. Vooral de dieselmotor is het schoolvoorbeeld van hoe er op basis van nieuwe kennis een stap gezet kon worden, in dit geval hoe ontwikkelingen in thermodynamica en voertuigtechniek hebben geleid tot een meer efficiënte verbrandingsmotor. In de Nederlandse context was de transitie van kolen naar aardgas in de jaren zestig vooral het gevolg van overheidsbeleid, naast (uiteeraard) de vondst van enorm veel aardgas in onder andere de provincie Groningen. Later werd de regie over de energiemarkt vanuit de overheid overgedragen aan het bedrijfsleven, als gevolg van de keuze voor liberalisering van die markt. Deze voorbeelden laten zien dat energietransities kunnen worden geïnitieerd en gestuurd. De kant waarheen gestuurd wordt, kan het resultaat zijn van innovatieve trajecten of van marktwerking, met of zonder specifieke overheidsinterventie. In het vervolg van mijn betoog zal ik deze driedeling van markt, innovatie en beleid steeds benoemen als de drijvende krachten die een transitie in energiebronnen of grondstoffen mogelijk maken.

Het overzicht in Figuur 1 laat tevens zien dat de capaciteit van hernieuwbare en alternatieve energiebronnen (*renewables*) nog ver verwijderd is van de benodigde hoeveelheid om de hele markt te kunnen voorzien. Er is nog een grote kloof tussen de hoeveelheid energie die nu geleverd wordt door kolen, olie en gas en de hoeveelheid energie die afkomstig is uit waterkracht, wind, zon, biomassa en kernenergie. Er is wel sprake van een wereldwijde toename van duurzame energiebronnen in de afgelopen twintig jaar, met waterkracht als duidelijke koploper, maar op dit moment is dat nog lang niet voldoende.

In Figuur 1 wordt een eenvoudige definitie van het begrip *renewables* gehanteerd, dat wil zeggen: energiebronnen die niet gebaseerd zijn op fossiele brandstoffen. Daaronder vallen de traditionele biomassa (zoals hout en reststromen uit de landbouw), waterkracht, wind en zon. Biobrandstoffen worden apart genoemd, vanwege de relatief grote beschikbaarheid. Daarnaast worden 'other renewables' genoemd,

waarbij valt te denken aan energie op basis van temperatuurverschillen in het oceaanwater, oftewel *ocean thermal energy conversion* (Technische Universiteit Delft (a), z.d.) of getijdenenergie, oftewel *tidal energy* (Technische Universiteit Delft (b), z.d.). Deze verschillende technologieën hebben met elkaar gemeen dat de bron van de energie niet eindig is (wat wel het geval is bij fossiele brandstoffen), maar hernieuwbaar. In alle gevallen zorgt de zon immers voor een voortdurende vernieuwing van de energieaanvoer. Dit laatste geldt dan niet voor kernenergie, wat wel een alternatieve energiebron is, maar niet een hernieuwbare. Gezien de kleine rol die kernenergie op dit moment speelt en waarschijnlijk voorlopig zal blijven spelen in de energievoorziening voor de Nederlandse industrie, bespreek ik deze energiebron niet verder.

Dat een energiebron *renewable* is, is overigens geen garantie voor duurzaamheid. Een technologie als *ocean thermal energy conversion* (Technische Universiteit Delft (a), z.d.) vraagt om een enorme infrastructuur, waarvoor in de constructiefase veel materialen en energie nodig zijn. Ook zijn de ecologische effecten, met name in tropische regio's, nog onvoldoende bekend. Dit betekent dat er veel berekeningen nodig zullen zijn om de duurzaamheidsbijdrage te bepalen. Om een ander voorbeeld te geven: bij het gebruik van biomassa bepaalt de herkomst ervan of er daadwerkelijk minder CO₂ wordt uitgestoten. Het vaststellen van de mate van duurzaamheid van *renewables* zal in deze openbare les verder worden uitgewerkt.

Voor nu is het van belang om te benadrukken dat niet alleen de keuze voor bepaalde energiebronnen bepaalt of de energietransitie duurzaam verloopt, maar dat er ook andere aspecten van belang zijn. Zo zal ik betogen dat het nodig is om de term *renewable* uit te breiden met het aspect *circulariteit*. Dan pas is het mogelijk om te spreken van een duurzame energietransitie. Er bestaat namelijk een onlosmakelijke relatie tussen het succes van de energietransitie en de beschikbaarheid van materialen voor die energietransitie. Van succes is nu vaak nog geen sprake, doordat de energie voor de productie meestal opgewekt wordt met fossiele brandstoffen die steeds schaarser worden, maar ook doordat de alternatieve energieopwekkers en -dragers meestal nog niet circulair worden ontworpen. Dit betekent dat als de energietransitie alleen focust op de afbouw van de inzet van fossiele brandstoffen bij het opwekken van energie, er over een aantal jaren een grote schaarste meerdere soorten grondstoffen is te verwachten, zoals van metalen of kunststoffen. Daarbij komt dat niemand zit te wachten op het vervangen van autokerkhoven door windmolenkerkhoven, of stapels zonnepanelen bij het chemisch afval. De koppeling tussen circulariteit en energietransitie heeft niet alleen betrekking op de materialen en technologieën als energiebron, maar ook op materialen voor energiedragers en energieopslag.

Het begrip circulariteit komt voort uit het concept van de circulaire economie. Ook andere lectoren in ons kenniscentrum richten zich op de circulaire economie. Zij definiëren het begrip nader, zoals mijn collega Marcel den Hollander (lector Circulaire Maakindustrie) dat doet in zijn openbare les. De circulaire economie wordt gezien als een meer duurzaam alternatief voor de huidige lineaire economie. Het grootste deel van de grondstoffen wordt op dit moment op een lineaire manier verwerkt tot producten en gaat daarom al na eenmalig en vaak kort gebruik verloren als afval. De producten worden met zo min mogelijk kosten geproduceerd en verkocht tegen een zo hoog mogelijke prijs. Als het product niet meer aan de wens voldoet, dan wordt het afgedankt, wat weer een of meerdere afvalstromen creëert.

Daarom klinkt er een steeds nadrukkelijker roep, in zowel de wetenschappelijke wereld als in de maatschappij, om slimmer, efficiënter en bewuster om te gaan met de natuurlijke hulpbronnen. Dit vraagt in ieder geval om het gebruik van afval als grondstof, dus recycleren, zodat deze grondstoffen meerdere keren gebruikt worden. Maar dat is nog maar een van de mogelijke alternatieven. Voor een daadwerkelijk circulaire economie is het nodig om materialen zo veel en zo lang mogelijk te behouden. Dat betekent dat het verlengen van de levensduur, het makkelijker repareren van producten en systemen, het modulair ontwerpen, et cetera, een zeer belangrijke rol spelen in het geheel van circulair denken.

De transitie naar duurzame energie heeft als belangrijkste doel het gebruik van moeilijk vervangbare fossiele grondstoffen te verminderen en zo de CO₂-uitstoot te reduceren. Dat klinkt vanzelfsprekend, geredeneerd vanuit de breed gedeelde ambitie om tot een duurzame ontwikkeling en een circulaire economie te komen, maar dat is het niet. De huidige energiemarkt is hoogst onzeker en dat kan als effect hebben dat bedrijven en overheden een afwachtende houding aannemen. Daardoor gaat kostbare tijd verloren, die gebruikt zou moeten worden om te komen tot een heldere visie op waar de transitie zich naar toe moet bewegen. Zoals al eerder gesteld: in een overgang naar duurzame energie en duurzame materialen moet innovatie hand in hand gaan met een passende implementatie in de markt en een juiste formulering van het beleid.

Dit werpt de volgende vraag op: 'Hoe zorgen we als maatschappij ervoor dat de energietransitie samenhangt met en onderdeel is van de circulaire economie en welke kennis moet Hogeschool Rotterdam in huis hebben en verder ontwikkelen om dit te faciliteren?' Die vraag wil ik niet alleen theoretisch beschouwen, maar ook dicht bij de praktijk van de Rotterdamse industrie brengen. In het volgende hoofdstuk zal ik echter eerst nog wat meer achtergrondinformatie geven over wat een circulaire energietransitie inhoudt en waarom de onderlinge verbondenheid tussen circulariteit en energievraagstukken zo sterk is.

Circulaire energie- transitie

Het probleem met energie is feitelijk vooral een probleem met grondstoffen. Ten eerste worden de traditionele energiebronnen als olie en gas schaars en die moeten worden vervangen door alternatieve energiebronnen als wind- en zonne-energie. Dit is dus een omschakeling in de grondstof: van fossiele materialen naar materialen die de vervangende energietechnologie in zich dragen. Ten tweede moeten er, om die alternatieve energiebronnen te kunnen gebruiken, nieuwe grondstoffen worden bewerkt en moet er een nieuwe energie-infrastructuur worden opgebouwd. Gezien de schaarste van de grondstoffen is het evident dat de materialen voor de energietransitie duurzaam gewonnen en teruggewonnen moeten worden. De energietransitie en de grondstoffentransitie moeten beide circulair verlopen.

Circulariteit van de energietransitie en grondstoffentransitie

Zoals hierboven beschreven is het een probleem dat er nog onvoldoende rekening gehouden wordt met *circulariteit* in combinatie met de energietransitie. Daarmee loopt de industrie het risico dat de energietransitie wel plaatsvindt, maar tegelijkertijd niet of onvoldoende een duurzamere samenleving oplevert. Daarnaast is er de vraag waar de *grondstoffen* voor de energietransitie vandaan moeten komen, is er wel voldoende beschikbaar voor de Nederlandse en Europese markt, of zal de energietransitie afgeremd worden door schaarste aan materialen?

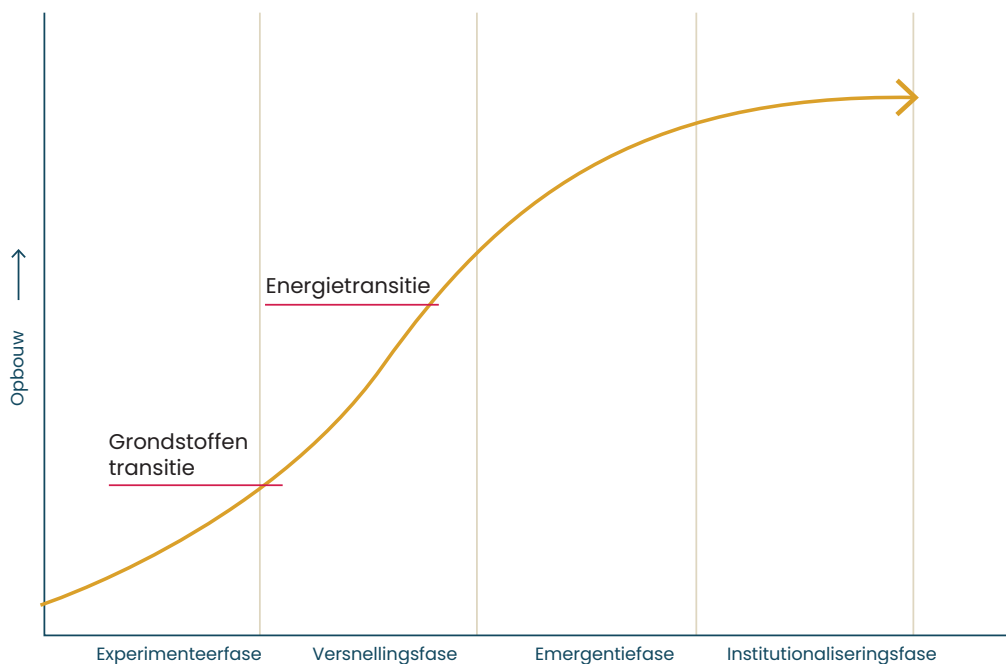
Circulair werken kan de schaarste laten afnemen, maar daar staat tegenover dat een circulaire economie (zeker in de opstartfase) meer energie vraagt dan een lineaire economie. Dit komt doordat er in een circulaire economie meer transportstappen nodig zijn; de grondstoffen moeten immers weer terug worden gebracht naar het beginpunt van de keten, en het opwerken van afval naar een goede grondstof vraagt energie. Samengevat betekent dit dat het inrichten van een circulaire economie ervoor kan zorgen dat de waarde van grondstoffen behouden blijft, maar tegelijkertijd een extra energievraag creëert; dat roept weer om de inzet van duurzame of alternatieve energiebronnen, die op hun beurt weer meer grondstoffen nodig hebben. Energietransitie en grondstoffentransitie moeten daarom gezamenlijk en geïntegreerd worden opgepakt.

Definiëring en fasen

Ik zal eerst beschrijven wat met de term 'transitie' precies bedoeld wordt. Op zijn website over duurzaamheid en transitie management hanteert Jan Rotmans de volgende beschrijving van een transitie (Rotmans, z.d.):

Transitie betekent letterlijk kentering of kanteling. [...] Een transitie volgt een S-curve. Eerst is er een lange voorontwikkelingsfase, en dan komt er een kantelfase. Dat leert je een paar dingen: ontwikkelingen gaan niet lineair maar schoksgewijs, ze gaan soms snel en soms traag, ze bieden lange periodes van evenwicht die verstoord worden door korte periodes van chaos waarin het systeem opgeschud wordt.

In de zomer van 2022 bracht de Sociaal-Economische Raad (SER) de resultaten van een verkenning naar buiten met als titel: *Evenwichtig sturen op de grondstoffentransitie en de energietransitie voor brede welvaart* (Sociaal-Economische Raad, 2022). Deze verkenning kwam precies op het goede moment voor de verdere ontwikkeling van mijn lectoraat, omdat de SER zeer duidelijk laat zien waarom de grondstoffentransitie en de energietransitie onlosmakelijk met elkaar zijn verbonden. Ook volgt uit



Figuur 2 Fasen van de energie- en de grondstoffentransitie in het transitieproces (Sociaal-Economische Raad, 2022)

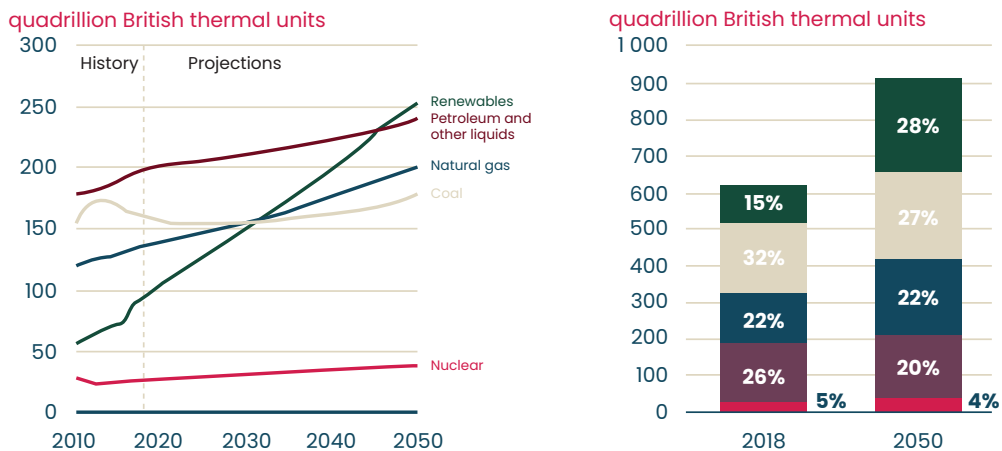
de SER-verkenning dat een intensieve samenwerking tussen het bedrijfsleven, kennisinstellingen en de overheid onmisbaar is. Dat wil zeggen dat de economische markt waarin het bedrijfsleven actief is, de innovaties die de kennisinstellingen kunnen inbrengen en veranderingen in het overheidsbeleid hier weer terugkomen als de drie essentiële aspecten van het veranderproces. Figuur 2 is overgenomen uit de SER-verkenning en illustreert helder dat de grondstoffentransitie nog in de experimenteerfase is, terwijl de energietransitie al in de versnellingsfase is beland. Ervoor zorgen dat de ontwikkeling en toepassing van kennis uit de twee transitie samen opgaan en met elkaar in evenwicht kunnen worden gebracht, zal een van de belangrijkste drijfveren zijn van het onderzoek binnen mijn lectoraat.

Figuur 2 is tevens een mooie illustratie van wat Jan Rotmans hierboven stelt over de vorm van het transitieproces. Er zijn vier fasen te onderscheiden bij transitie. Eerst is er de *experimenteerfase*, waarin innovatie en ontwerp centraal staan; dat betekent dat nieuwe materialen en nieuwe technologieën worden getest en, bij goede resultaten, verder worden opgeschaald. Na de experimenteerfase volgt de *versnellingsfase*; daarin wordt de kennis over de innovaties in technologie en materialen steeds meer verspreid en toegepast. Dit gaat altijd gepaard met meer marktwerking, waardoor de nieuwe installaties en producten beschikbaar komen voor steeds meer partijen en de kostprijs vanwege opschaling kan gaan dalen. In de *emergentiefase* wordt er verder gebouwd aan de transitie, maar neemt de snelheid van vernieuwing langzaam af. De markt raakt verzadigd en begint zich te stabiliseren. Naast de ontwikkeling van kennis en van de markt, worden ook wet- en regelgeving en andere vormen van institutionalisering verder ontwikkeld. Dit is de vierde fase van de transitie, de *institutionaliseringfase*, waarin de nieuwe materialen en nieuwe technologieën algemeen geaccepteerd zijn en toepasbaar in heel verschillende situaties. In de volgorde van de transitiefasen komen dan de markt, verdere innovatie en het overheidsbeleid opnieuw voorbij. Als deze transitiecurve wordt gelegd over de ontwikkeling van primaire energiebronnen sinds 1800 (Figuur 1), dan zijn er duidelijke overeenkomsten zichtbaar. Ook de historische trends van energiebronnen kenden periodes van ontwikkeling en versnelling, al dan niet gestuurd vanuit de markt of door de overheid.

Internationale ambitie: RePowerEU

De genoemde SER-verkenning uit Nederland is gebaseerd op vele publicaties uit de domeinen van energietransitie, grondstoffentransitie en circulariteit. Het in mei 2022 gepresenteerde plan van de Europese Commissie met de naam 'RePowerEU' (European Commission, z.d.) duidt de internationale context. Aanleiding voor dit plan is dat de economie in de Europese Unie (EU) in de afgelopen decennia te afhankelijk is geworden van landen en regio's buiten Europa, als het gaat om energie en grondstoffen.

Recente ontwikkelingen laten dat zien en deze trend lijkt zich verder door te zetten. Urgent is nu het verminderen van de afhankelijkheid van Russisch gas, maar ook van olie uit het Midden-Oosten. Daarbij komt dat het afbouwen van het Groningse gas die afhankelijkheid juist extra had vergroot. Dit raakt niet alleen de energiemarkt maar ook de grondstoffenmarkt; olie en gas zijn namelijk voor een groot deel naast energiedrager tevens bron van grondstoffen voor en door de chemische industrie. Ook voor grondstoffen als ertsen en mineralen is de EU afhankelijk van andere regio's, wat bedreigend kan zijn voor de groei van de EU. Zo is het aantal mijnen voor schaarse metalen de afgelopen jaren steeds verder afgenomen en deze mijnen zijn vooral nog te vinden in Azië, terwijl de vraag naar deze grondstoffen in de EU voor hightech toepassingen steeds verder toeneemt. Met 'RePowerEU' probeert de EU de regio op dit punt wat meer terug te pakken.



Figuur 3 Mogelijk scenario voor gebruik van energiebronnen tot 2050 (Energy Information Administration, z.d.)

Het plan is echter meer dan een poging om de stabiliteit van de Europese economie te bewaken. De EU legt met dit plan een uitermate ambitieuze route voor de energietransitie neer. Zij zet in op een enorme versnelling van de transitie naar een economie die draait op duurzame energie. Normaal gesproken is de EU een vrij traag en reactief orgaan, maar in dit geval houdt zij een hoog tempo aan. Om deze doelstellingen te halen, moet de Nederlandse industrie stevig in actie. In de afgelopen jaren is weliswaar ingezet op CO₂-reductie in transport en logistiek, op de vermindering van de uitstoot van broeikasgassen in de chemische industrie en de toepassing van duurzamere materialen. Toch gaat het niet ver genoeg, want in dat tempo worden de doelstellingen uit 'RePowerEU' niet gehaald.

Om de impact van het plan verder te duiden, verwijs ik naar een figuur van de Energy Information Administration (Energy Information Administration, z.d.), zie Figuur 3. Dit schetst het scenario voor de ontwikkeling van de *renewables* in de Amerikaanse energiemarkt. Hoewel de cijfers in Figuur 3 niet afkomstig zijn uit de scenario's voor de Europese markt en het precieze verloop van de trends onderwerp van discussie is, laat het wel zien wat de consequentie is van het geleidelijk afschaffen van fossiele brandstoffen in de komende dertig jaar. Dit zal ontegenzeggelijk leiden tot een exponentiële groei van hernieuwbare energievoorzieningen. De energietransitie, zoals hierboven aangetoond in de SER-verkenning, is echter al halverwege de versnellingsfase, terwijl de grondstoffentransitie nog volop in de experimenteerfase zit. Dit betekent dat de beschikbaarheid van innovatieve energiematerialen en alternatieve energietechnologieën nog vele malen verder moet worden opgeschaald. De vraag is daarbij of dat wel met de huidige productiemethoden op een duurzame manier gaat lukken. De hoeveelheid materialen die nodig is voor de energieopwekking, het energietransport en de energieopslag van deze technologieën is gigantisch. Behalve in termen van materialen is de omvang van dit vraagstuk onvoorstelbaar groot in termen van de benodigde snelheid van implementatie en de onontbeerlijke politieke wil om daar vanaf nu met volle vaart mee aan de slag te gaan.

In 'RePowerEU' is sprake van dezelfde tijdspanne als in Figuur 3, namelijk iets meer dan dertig jaar. Daarmee ontstaat er een dringende en onontkoombare consequentie voor de Nederlandse industrie. Gezien de al bestaande plannen voor de Nederlandse industriële sectoren moet er voor 2030 een significante stap zijn gemaakt met energiebesparing en moet de bijdrage van hernieuwbare energiebronnen sterk vergroot zijn. De transitie is daarmee echter nog niet klaar, want na deze ontwikkelfase en versnellingsfase komen er nog twee fasen. Het overheidsbeleid van de EU-lidstaten zal hierop aangepast moeten worden en dit heeft grote consequenties voor de Nederlandse economie. Deze invloed van het EU-beleid op de Nederlandse industrie is in veel opzichten een goede stok achter de deur om de energietransitie in Nederland echt serieus in gang te zetten. 'RePowerEU' kent echter twee beperkingen.

In de eerste plaats focust 'RePowerEU' exclusief op energievoorziening. Dit is al af te leiden uit de naam van het plan, het gaat erom de EU opnieuw te voorzien van *power* en daarbij meteen innovaties te realiseren om andere vormen van energieproductie in te zetten. Hiervoor is een transitie van fossiele energiebronnen naar nieuwe en alternatieve energietechnologieën en energiematerialen noodzakelijk. Het gaat hierbij om energiebesparing en een meer diverse verzameling van energievoorzieningstechnieken. Zo gauw de aandrijving van het overgrote deel van de energietechnologie gebaseerd is op hernieuwbare bronnen, is de doelstelling bereikt. Dit wil dan echter nog niet zeggen dat daarmee de transitie daadwerkelijk duurzaam is verlopen.

In de tweede plaats is er in het plan geen aandacht voor de grondstoffen die nodig zijn voor de fossielvrije energietechnologie. Mogelijk dat men aanneemt dat de grondstoffen ruimschoots voorradig zijn binnen de EU. Maar dat geldt alleen voor de bronnen (zoals wind en zon), maar niet voor de grondstoffen voor de systemen die zorgen voor de omzetting naar energie (denk aan de windmolens, de zonnepanelen en de waterkrachtcentrales) en voor de bijbehorende infrastructuur.

Het is niet duidelijk hoe het komt dat het plan een dusdanig sterke scheiding tussen energie en grondstoffen kent, maar mogelijk heeft dit een historische verklaring. De eerdere energietransities van kolen naar aardolie en aardgas waren immers het gevolg van een snelgroeiende grotere beschikbaarheid in combinatie met een steeds goedkopere en eenvoudigere winning. In zo'n transitie als gevolg van een groeiende hoeveelheid goedkope grondstoffen speelt uiteraard het grondstoffenvraagstuk helemaal niet. Nu speelt dat grondstoffenvraagstuk echter wel en is het zeer bedreigend voor de industrie dat de samenhang tussen de energietransitie en grondstoffen niet wordt erkend. De industrie zal zeer grote economische schade oplopen wanneer de energievoorziening in gevaar komt. Met de huidige inzichten over de schaarste van grondstoffen en het streven naar een duurzame ontwikkeling en een circulaire economie, moet er daarom veel meer aandacht komen voor de samenhang tussen de grondstoffentransitie en de energietransitie. Om die samenhang verdere invulling te geven, zal ik nu eerst de twee transities afzonderlijk bespreken.

Energietransitie

De energietransitie gaat over het overgaan op andere energiegrondstoffen, maar ook over het reduceren van het energiegebruik. Voor de reductie worden in de industrie methoden toegepast als de analyse van de energie-efficiëntie, procesoptimalisatie en procesintensificatie. Door het intern verbeteren van productieprocessen is er minder energie nodig. Dit is al een grote winst, omdat hierdoor minder CO₂ wordt geproduceerd en de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen en fossiele grondstoffen wordt verkleind. Dit element van de energietransitie is het onderwerp van het lectoraat Procesoptimalisatie en -intensificatie aan Hogeschool Rotterdam (Lieshout, 2017), onder leiding van Marit van Lieshout.

Bij de overschakeling op andere energiegrondstoffen spelen in de industrie de volgende vier aspecten een rol:

1. **Energiebronnen.** Dit gaat over de transitie naar een gegarandeerde en veilige toegang tot energiebronnen met minder afhankelijkheid van risicogebieden in de wereld. Dit betekent dat alternatieve energiebronnen moeten worden gebruikt en breder worden ingezet. De *renewables* zijn al genoemd, zoals wind, zon en biomassa.

2. **Energiedragers.** Het inzetten van alternatieve energiebronnen betekent in de meeste gevallen ook een meer diverse verzameling van energiedragers. Waar de energiedragers decennialang meestal olie en gas waren, wordt nu vooral gekeken naar elektriciteit, waterstof en andere chemische verbindingen zoals ammoniak of mierenzuur.
3. **Energieopslag.** Het inzetten van alternatieve energiebronnen heeft invloed op het moment waarop de energie wordt geproduceerd, dat varieert met de seizoenen, de tijd van de dag, het weer of het getij. Ook al fluctueren in het vervolg van de energietransitie mogelijk sommige alternatieven minder, dan is alsnog aandacht voor energieopslag hard nodig, vanwege de diversifiëring van de energieproductie. De keuze voor een bepaalde energiedrager bepaalt ook in hoeverre opslag voor de lange termijn mogelijk is.
4. **Energiemarkt.** De eerste drie aspecten hangen vooral aan het technische domein, maar techniek is niet te realiseren en op te schalen als er geen markt voor is. De economische aspecten van de energietransitie in de vorm van de inrichting van de energiemarkt, moeten daarom veel aandacht krijgen. Dit betekent dat een techno-economisch perspectief op bovenstaande ontwikkelingen onmisbaar is.

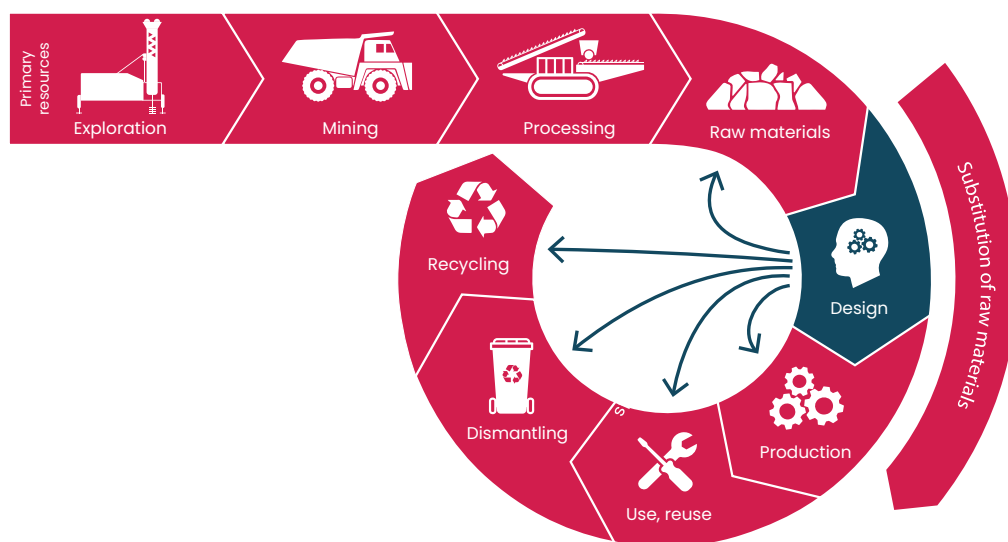
De vier elementen staan niet los van elkaar; ze hebben een onderlinge beïnvloeding en afhankelijkheid. Wat de elementen laten zien, is dat een duurzame energietransitie kansen biedt om de industrie van binnenuit te veranderen, zeker wanneer de elementen in samenhang worden opgepakt. Deze geïntegreerde aanpak zal de basis zijn van de ontwerpgerichte aanpak van mijn lectoraat.

Ik wil hier benadrukken dat energiebronnen en energiedragers verschillende zaken zijn. Vooral bij waterstof is dat onderscheid belangrijk. Waterstof is een energiedrager, het kan gewonnen worden via verschillende routes, maar het is nooit een energiebron. Omschakelen naar waterstof is alleen een duurzame ontwikkeling als ook de energiebron duurzaam is. Datzelfde geldt voor elektriciteit, waarbij niet elke vorm van elektrificatie duurzaam is. Om de verschillende energiebronnen te classificeren, wordt er gesproken over 'grijs', 'blauw' en 'groen'. Hierbij verwijst 'grijs' naar routes die fossiele brandstoffen gebruiken, bijvoorbeeld de productie van waterstof uit aardgas door middel van *steam reforming*. 'Blauw' is hier een variant op, waarbij er nog steeds wel fossiele brandstoffen worden gebruikt, maar de CO₂-emissies worden afgevangen en opgeslagen via *carbon capture and storage* (CCS) of afgevangen en hergebruikt via *carbon capture and utilisation* (CCU) (European Union, z.d.). 'Groen' is dan de variant die *renewables* gebruikt voor het maken van 'groene waterstof' dan wel 'groene elektriciteit'.

Grondstoffentransitie

In hun boek *Cradle to cradle* maakten McDonough en Braungart (McDonough & Braungart, 2007) al duidelijk dat er een verschil is tussen efficiëntie en effectiviteit. Efficiëntievergroting zorgt ervoor dat er minder energie of minder materiaal nodig is om hetzelfde doel te bereiken. Effectiviteitsvergroting zorgt voor een meer doelmatige manier om dezelfde functie te vervullen. Het gaat dus niet altijd om de keuze voor minder energie of minder grondstof, het kan ook gaan om de keuze voor een heel ander materiaal of een heel andere energiehuishouding.

De circulariteit van de grondstoffentransitie wordt mooi weergegeven in Figuur 4, ontworpen door het Europese samenwerkingsverband EIT Raw Materials (EIT Raw Materials, z.d.). In dit consortium werken bedrijven, kennisinstellingen en overheden samen om de winning van natuurlijke hulpbronnen, in het bijzonder zeldzame metalen en aardmetalen, zoveel mogelijk meer efficiënt te maken. Maar ook om de winning van de metalen waar mogelijk te verminderen; de belangrijkste aanpak daarbij is om de metalen weer terug te winnen uit producten op het moment dat deze zijn afgeschreven. Met name voor de stappen recycling en processing in een circulaire economie is veel energie nodig.



Figuur 4 Circulariteit van de grondstoffentransitie (EIT Raw Materials, z.d.)

De grondstoffentransitie kent vier kenmerken die meegenomen moeten worden:

1. **Alternatieve productieroutes.** Het proces van het bewerken van de grondstoffen tot halffabricaten en de productieprocessen die leiden tot eindproducten, zullen grondig op de schop moeten. Daarbij moeten zowel de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen in de gebruikelijke productieroutes als het gebruik van olie en gas als grondstof omlaag. Zo kan er bijvoorbeeld worden gekozen voor het toepassen van principes uit de groene chemie of bio-based chemie of het ontwikkelen van nieuwe recyclingmethodes om afval weer om te zetten in bruikbare grondstof.
2. **Beschikbaarheid.** De grondstoffentransitie moet leiden tot een markt waarin grondstoffen zo vaak en zo veel mogelijk worden hergebruikt. Dit leidt vanzelf tot een gegarandeerde en veilige toegang tot grondstoffen met minder afhankelijkheid van risicogebieden in de wereld. Om deze beschikbaarheid veilig te stellen is er naast technologie en een markt, ook regelgeving nodig, om te zorgen dat kwaliteit en kwantiteit gewaarborgd zijn voor de verschillende industriële sectoren.
3. **Circulariteit.** Circulair werken is de enige manier om ervoor te zorgen dat waardevolle grondstoffen worden teruggewonnen en niet verloren gaan. Hierbij zijn technische aspecten van belang, waarvan er onder punt 1 al verschillende zijn genoemd. Circulariteit betekent ook participatie in een circulaire economie, waarvoor verdere ontwikkeling van werkbare businessmodellen nodig is, die de implementatie van circulaire producten versnellen.
4. **Duurzaamheid.** In een duurzame ontwikkeling komen maatschappij, economie en milieu samen. Niet elke vorm van energietransitie of circulariteit is per definitie beter voor het milieu of financieel haalbaar, daarom is het nodig om voortdurend zorgvuldig te monitoren wat de geïntegreerde en onderling afgewogen bijdrage aan duurzaamheid is.

Ook hier zijn de verschillende aspecten onderling met elkaar verweven; zij moeten in samenhang worden bekeken om tot relevante oplossingen te komen.

Tot slot

Het is cruciaal dat de grondstoffentransitie en de energietransitie in een symbiotische relatie met elkaar geraken. Dus, alle kenmerken van de beide transitieën moeten worden meegenomen in het onderzoek. Om dit duidelijk te maken, zal ik het vanaf nu alleen nog hebben over de circulaire energietransitie. Deze term wordt nog niet vaak gebruikt, maar geeft in het kader van mijn lectoraat wel mooi de combinatie tussen deze twee thema's weer. Dat zal ik hierna uitgebreid toelichten, waar ik meer achtergrond geef en de context schets van waar de ontwikkelingen op het gebied van energietransitie en circulariteit zich bevinden.

Context van de circulaire energietransitie

De grote maatschappelijke bewegingen als duurzame ontwikkeling, circulaire economie, energietransitie en grondstoffentransitie hebben in het onderwijs en onderzoek aan Hogeschool Rotterdam een plek gekregen in diverse initiatieven en projecten. In het vorige hoofdstuk heb ik een aantal aspecten van de nationale en internationale politiek besproken. Hieronder zal ik daarbij nog een aantal thema's beschrijven die alles te maken hebben met het verder invullen van de circulaire energietransitie en die kansen en soms ook bedreigingen vormen voor de impact en outcome van het onderzoek. Op deze manier worden de uitdagingen voor mijn lectoraat beter zichtbaar en ook de dilemma's waar het onderzoek en het onderwijs mee te maken zullen krijgen.

Duurzame ontwikkeling versus duurzaamheid

Duurzaamheid staat in onze taal voor alles wat maar enigszins te maken heeft met zorgen voor de natuur, groen leven of het klimaat. 'Duurzaamheid' is de vertaling van het Engelse '*sustainability*', oorspronkelijk een landbouwterm die de goede zorg voor akkers en veeteelt definieert. De oorspronkelijke betekenis van *sustainability* kreeg een nieuwe dimensie toen 1972 Goldsmith et al. er een moderne interpretatie aan gaven in hun boek *A blueprint for survival* (Goldsmith & Allen, 1972). Het boek gaat niet alleen over landbouw, maar ook over allerlei vormen van technologie in de moderne samenleving. Zoals een akker niet uitgeput mag worden maar kans moet hebben om zich te herstellen, zo moet ook de moderne industrie grondstoffen zorgvuldig gebruiken en de hulpbronnen niet uitputten. Deze bredere betekenis van duurzaamheid is vervolgens overgenomen door de Verenigde Naties in 1987, in het rapport *Our common future* (United Nations, Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future, 1987). In dat rapport gaat het in de kern vooral over duurzame ontwikkeling (*sustainable development*): de maatschappelijke en economische ontwikkeling van landen en hun inwoners moet zo duurzaam mogelijk verlopen.

Het verschil tussen duurzaamheid en duurzame ontwikkeling zie ik als cruciaal voor een goed begrip van beide termen. Duurzame ontwikkeling vraagt om een zorgvuldig bezinnen op welke maatschappelijke ontwikkeling past binnen economische en ecologische grenzen. Dat betekent dat er oog is voor de mensen om ons heen en voor de mensen na ons. Dat betekent dat economieën niet onbegrensd kunnen groeien. Bij elke nieuwe ontwikkeling zal de vraag moeten worden gesteld: is het haalbaar om dit

voor langere tijd te doen, of kunnen zal binnen de kortste keren de koek op zijn? Deze benadering is mijns inziens een belangrijk uitgangspunt voor de circulaire energietransitie. Juist bij de inzet van de alternatieve opwekkingstechnieken moet de samenleving dit voor ogen houden. Dit betekent dat verduurzaming van de samenleving niet alleen over energie, grondstoffen of klimaat moet gaan. Dit zijn weliswaar de speerpunten van mijn lectoraat en die sluiten mooi aan bij ambities binnen Hogeschool Rotterdam, maar we zullen als hogeschool juist ook de ingenieurs van de toekomst moeten laten kennismaken met een bredere definitie van duurzame ontwikkeling, zoals hieronder verder wordt toegelicht.

Sustainable Development Goals

In 2015 hebben de Verenigde Naties de zeventien Sustainable Development Goals (SDG's) geïntroduceerd (United Nations, z.d.). Elk van deze duurzaamheidsdoelen betreft een wereldwijd actueel probleem dat moet worden aangepakt. Deze problemen zijn urgent en de vraag is voortdurend of het probleem vermindert of ondanks alle inspanningen alsnog groter wordt. De zeventien duurzaamheidsdoelen laten zien dat duurzaamheid een complex vraagstuk is, waarbij allerlei aspecten samenkomen en elkaar beïnvloeden. Bijvoorbeeld SDG 1 luidt: 'No poverty', maar armoede is nog lang niet de wereld uit en wordt juist versterkt door de oplopende schulden in de 'Global South'. SDG 6 luidt: 'Clean water', maar heel veel mensen hebben regelmatig of voortdurend geen toegang tot schoon water, wat vervolgens ook weer de gezondheid (SDG 3: 'Good health and well-being') negatief beïnvloedt. Om armoede of waterschaarste te bestrijden, is er veel politieke moed en veel geld nodig. Werken aan duurzaamheid vraagt om afwegingen. Als bijvoorbeeld schone energie in het ene deel van de wereld leidt tot de vraag naar goedkope arbeid en ongezonde werkomstandigheden in een ander deel van de wereld, dan kan dat niet gezien worden als een duurzame oplossing.



Figuur 5 Sustainable Development Goals voor een circulaire energietransitie

Figuur 5 laat zes duurzaamheidsdoelen zien, die samenhangen met de circulaire energietransitie. Ik licht ze kort toe:

- **SDG 7:** 'Affordable and clean energy'. Zoals al eerder aangegeven, is het noodzakelijk dat we een duurzame ontwikkeling doormaken als samenleving. Dit betekent energie besparen op plekken waar er te kwistig mee wordt omgegaan, maar het betekent ook dat in vele regio's in de wereld de beschikbaarheid van energie fors zal moeten groeien. Het beschikbaar maken van betaalbare en schone energietechnologie wereldwijd is een uitdaging en interessante praktijkopgave voor onze studenten en docenten.
- **SDG 9:** 'Industry, innovation and infrastructure'. Meer industriële groei, verdere innovatie en intensivering van infrastructuur zullen niet stoppen. De circulaire energietransitie moet daarom niet alleen het energiegebruik van de bestaande industrie verminderen, maar ook dealen met het energiegebruik voor de verdere uitbouw van industrie en infrastructuur dichtbij en ver weg. De uitdaging daarbij is om te zorgen dat de aanleg van nieuwe infrastructuur en de opbouw van nieuwe industrie meteen al vanaf de start duurzaam en circulair verlopen.
- **SDG 11:** 'Sustainable cities and communities'. De nadruk van mijn lectoraat ligt op de circulaire energietransitie in de industrie en de havenactiviteiten in Rotterdam en vergelijkbare regio's. Dit neemt niet weg dat er ook grote vraagstukken zijn rond de circulaire energietransitie in de gebouwde omgeving. Industriële toepassingen als het gebruiken van waterstof of het verwerken van afval tot energiedragers, hebben direct effect op de ontwikkeling van duurzame steden. In mijn lectoraat zal ik daarom voortdurend naar mogelijkheden voor een relatie zoeken tussen de industrie en de gebouwde omgeving, maar dan wel vanuit het perspectief van en de expertise in de industrie.
- **SDG 12:** 'Responsible consumption and production'. De SDG's doen geen expliciete uitspraak over circulariteit. Maar dat een circulaire economie nodig is, is wel af te leiden uit de combinatie van SDG 9 en 11, samenkomend in SDG 12. Verduurzaming van industrie, infrastructuur, steden en consumentenproducten hangt immers nauw samen met het terugwinnen van waardevolle materialen na gebruik. Er kan alleen sprake zijn van een 'verantwoorde consumptie en productie' als die samengaat met productie op basis van duurzame energie, energiezuinige consumptie en het gebruik van circulaire materialen.
- **SDG 13:** 'Climate action'. Het doel van de circulaire energietransitie is om minder CO₂ en andere broeikasgassen (zogenaamde *greenhouse gases* oftewel GHG's) in de atmosfeer te brengen. En dat kan uitgebreid worden met de mogelijkheid om CO₂ ondergronds op te slaan via *carbon capture and storage* (CCS) of om te zetten in nuttige producten via *carbon capture and utilisation* (CCU) (European Union, z.d.). Op die manier zijn zelfs 'negatieve emissies' te realiseren, wat betekent dat er meer CO₂ de industrie ingaat dan uitgaat. In mijn onderzoek zal ik niet direct aan de

slag gaan met ‘*climate action*’, maar het is in het algemeen wel heel nuttig als in het onderwijs rond de circulaire energietransitie de studenten basiskennis meekrijgen van wat in het kader hiervan de belangrijkste speerpunten zijn.

- **SDG 17:** ‘Partnerships for the goals’. Deze SDG richt zich op allerlei vormen van nationale en internationale samenwerking die het realiseren van de doelen kunnen versnellen. Dit gaat vaak over ingewikkelde politieke instrumenten, die niet zozeer het onderwerp zijn van dit lectoraat. Al neemt dat niet weg dat samenwerking, regelgeving, convenanten, enzovoort, juist ook voor de ingenieur van de toekomst van belang zijn, omdat deze de randvoorwaarden vormen waarbinnen industrie en markt zich ontwikkelen. Uiteindelijk kan een daadwerkelijke mondiale duurzame ontwikkeling alleen maar gerealiseerd worden via intensieve samenwerking en een geïntegreerde aanpak van de complexe uitdagingen waar we met z’n allen voor staan.

Klimaatakkoord en het Rotterdamse haven-industrieel complex

De drijfveer achter de industriële energietransitie in Nederland is vooral het klimaatakkoord van Parijs. Als afgeleide daarvan heeft de Vereniging van de Nederlandse Chemische Industrie (VNCI) haar ambities verwoord in het rapport *Van routekaart naar realiteit* (of ‘Routekaart 2050’) met de focus op een groen industriebeleid (Koninklijke VNCI, 2021). Dit is ook zo terug te vinden in de plannen van de Topsector Energie, in het Topconsortium voor Kennis en Innovatie Energie en Industrie waar de missie is geformuleerd als ‘een duurzame en inclusieve industrie die binnen de ruimte van klimaat en milieu opereert’ (TKI Energie en Industrie, z.d.).

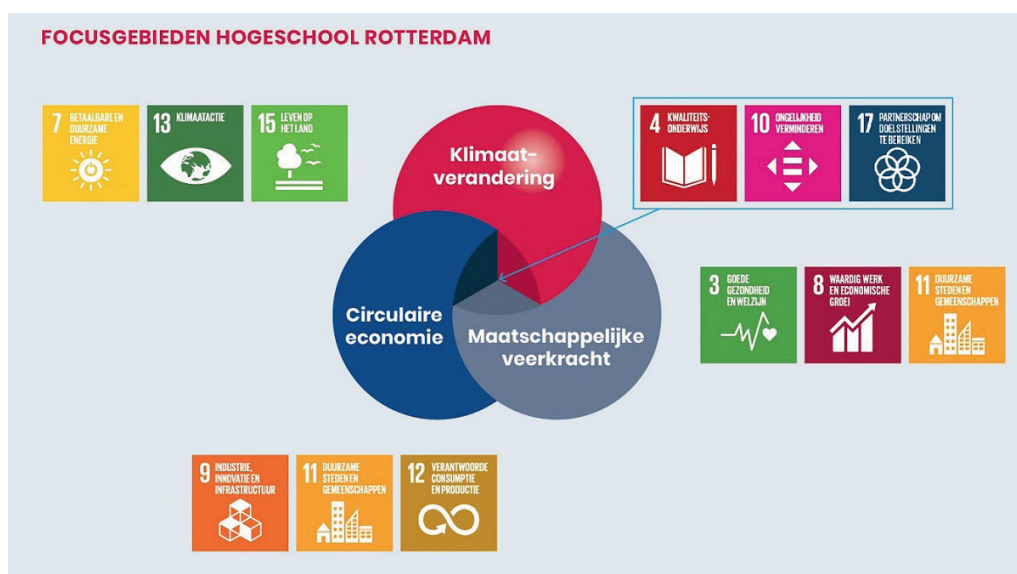
Overigens is het goed om hier te vermelden dat de TKI Urban Energie, die zich meer richt op de gebouwde omgeving, heeft meegewerkt aan een adviesrapport voor het beroepsonderwijs en het bedrijfsleven, onder de titel *Energietransitie, circulariteit en klimaatadaptatie* (Beroepsonderwijs Bedrijfsleven, 2021). Een dergelijk geïntegreerd adviesrapport, waarbij energietransitie en circulariteit samen worden meegenomen, is er nog niet voor de TKI Energie en Industrie, maar vanuit mijn lectoraat zou ik daar graag een aanzet toe willen geven.

De plannen van de VNCI en de Topsector Energie vertalen zich naar doelstellingen en innovaties die van groot belang zijn voor de industrie in de Rotterdamse haven. Ze vormen kansen voor verder praktijkgericht onderzoek naar aspecten van de circulaire energietransitie, omdat alle bedrijven in de regio met dezelfde urgentie en daarmee met dezelfde uitdagingen te maken hebben. We kunnen als Hogeschool Rotterdam een belangrijke functie vervullen als brug van beleid en overheid naar de praktijk in het bedrijfsleven, zeker ook vanwege de kennis en ervaring die we hebben op het gebied van ontwerpen en opschalen van de innovaties naar de zware industrie.

Samen duurzaam

Vanuit de observaties hierboven van het bedrijfsleven en de ambities van de overheid, is het goed om te kijken naar de mogelijkheden in het onderwijs. In de politiek wordt er wel gesproken over de 'verbouwing van Nederland'; om de professional van de toekomst klaar te stomen voor deze 'verbouwing', is er binnen Hogeschool Rotterdam een start gemaakt met het programma 'Samen duurzaam' (Hogeschool Rotterdam, z.d.). In dit programma zijn de SDG's uitgangspunt in onderwijs en onderzoek, samen met de strategische hbo-agenda 2019-2023 *Professionals voor morgen*. De duurzaamheidsdoelen waar de focus op ligt, zijn weergegeven in Figuur 6.

In vergelijking met Figuur 5 zijn er in het programma 'Samen duurzaam' nog vijf andere duurzaamheidsdoelen geselecteerd, die vooral te maken hebben met het thema 'maatschappelijke veerkracht' en de integratie tussen de focusgebieden. Ik zal dit hier niet verder uitwerken; voor een verdere toelichting verwijs ik naar het programma 'Samen duurzaam'. Doelstelling is om, in de periode 2020-2023, een concrete vertaalslag te maken van de SDG's voor studenten, medewerkers en activiteiten, zodat Hogeschool Rotterdam in de komende jaren 'SDG-proof' wordt.



Figuur 6 Sustainable Development Goals binnen Hogeschool Rotterdam

De circulaire energietransitie vraagt om vernieuwing van businessmodellen, organisatievormen en ontwerpmethodes. Het is mooi om te zien dat Hogeschool Rotterdam zich niet alleen bezighoudt met technologische kennis en economische modellen, maar zich duidelijk wil neerzetten als een instelling waar studenten worden gestimuleerd om breed te denken en zo te leren om bij te dragen aan een duurzame ontwikkeling.

Human Capital Agenda

In de industrie, in de gebouwde omgeving en ook binnen de andere sectoren van het bedrijfsleven is er een schreeuwend tekort aan technisch personeel. Om de circulaire energietransitie verder te versnellen, zullen er juist veel handjes nodig zijn om al die nieuwe systemen te installeren, te onderhouden en uiteindelijk op een duurzame manier te verwerken na uitgebruikname. Deze opgave om meer mensen aan het werk te krijgen in de techniek, wordt samengevat als de Human Capital Agenda voor energietransitie en circulaire economie. Dit betekent dat om de transitie van energie en grondstoffen daadwerkelijk voor elkaar te krijgen, de hele leerlijn in het technische domein geïntegreerd moet worden. De industrie heeft mbo-professionals nodig die goed op de hoogte zijn van de laatste ontwikkelingen. De hbo-ingenieurs moeten klaar zijn voor de toekomst door te beschikken over voldoende vaardigheden en professionaliteit in het techno-economische domein. Die hbo-ingenieurs moeten goed op de hoogte zijn van de meest recente ontwikkelingen op wetenschappelijk gebied en in staat zijn om met wo-onderzoekers te communiceren.

Het tekort aan jonge mensen die nu kiezen voor banen in deze technische domeinen, is een grote bedreiging voor de circulaire energietransitie. De schaarste aan *human resources* kan de transitie net zo goed belemmeren als de schaarste aan *natural resources*. Tegelijkertijd biedt het tekort prachtige kansen voor de ambities van Hogeschool Rotterdam op het gebied van duurzame ontwikkeling; zij kan hier vooral positie innemen door zich te profileren als de *place-to-be* voor duurzaamheid, circulariteit en energietransitie. Het onderzoek binnen en het onderwijs vanuit mijn lectoraat wil aan deze zichtbaarheid en profilering bijdragen.

Samenspel tussen alle elementen in het veld

Veel bedrijven worstelen met het vraagstuk waar ze het eerst in moeten investeren: meer circulair of minder energie? Ze hebben keuzestress. Het knelpunt dat daarbij naar voren komt is dat het tekort aan essentiële grondstoffen aanleiding is om meer te gaan recycleren, maar dat tegelijk de energievoorziening dan wel duurzaam moet zijn, omdat anders de circulariteit niet duurzaam is. Dit betekent dat er een duidelijke *roadmap* moet zijn met de stappen richting de circulaire energietransitie. De keuzes die daaronder liggen, zijn nog niet altijd goed onderbouwd of de gevolgen ervan worden onderschat. Daarbij komt dat de opgave om de circulaire energietransitie door te maken, complex is en alleen maar gestalte kan krijgen als meerdere stakeholders aanhaken. Het is een samenspel tussen overheid, kennisinstellingen, bedrijfsleven en maatschappij.

Vooraf van bedrijven wordt veel innovatiekracht gevraagd, wat kan leiden tot het uitstellen van keuzes en het op de lange baan schuiven van de problematiek. Dit vormt een reële bedreiging voor de versnelling van de circulaire energietransitie. Innovatie is alleen maar mogelijk als het bedrijfsleven intensief samenwerkt met kennisinstellingen waar verschillende disciplines samenwerken. En tegelijkertijd moet van overheidswege duidelijkheid en stabiliteit worden geboden, zodat het bedrijfsleven kan werken aan een langetermijnstrategie.

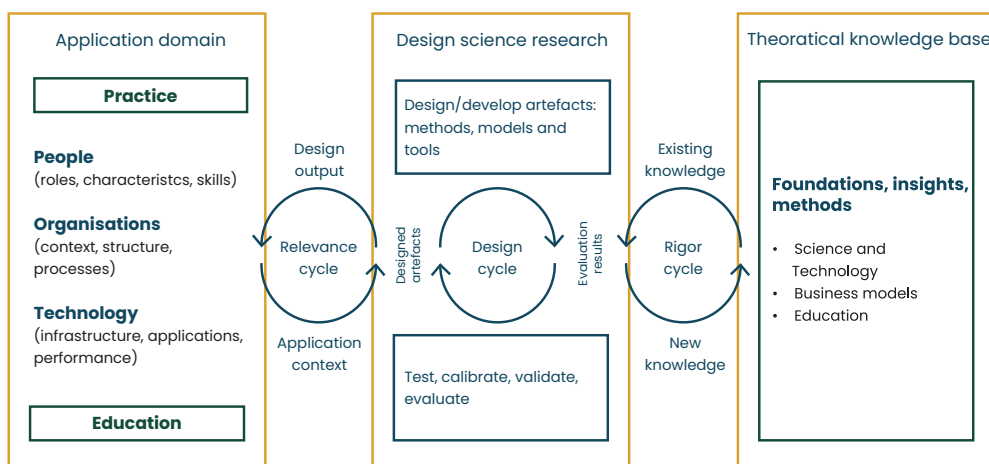
Bij de hogescholen in de regio, in hun samenwerking met de universiteiten van Delft, Leiden en Rotterdam, maar ook bij kennisinstellingen als TNO, PBL en RIVM, zijn veel goede inzichten te halen. Maar hoe krijgen we het voor elkaar dat al deze innovaties daadwerkelijk de havenindustrie gaan veranderen en een substantieel effect hebben op de verduurzaming ervan? De ingenieur van de toekomst, opgeleid aan Hogeschool Rotterdam, zal hierin een belangrijke rol moeten spelen. En dit kan mijns inziens alleen maar door een goed gedefinieerde ontwerpgerichte aanpak te hanteren; die ik nader toelicht in het volgende hoofdstuk.

Onderzoek in de praktijk van de Rotterdamse industrie

In het voorgaande heb ik laten zien dat de circulaire energietransitie een geïntegreerde opgave is. Het is een brede maatschappelijke beweging die gevolgen heeft voor zowel markt als overheidsbeleid en veel innovatiekracht vraagt. Er moet sprake zijn van een samenwerking tussen verschillende disciplines, tussen verschillende onderdelen binnen de overheid en tussen verschillende soorten bedrijven. Het is de transitie van een systeem gebaseerd op fossiele energiebronnen naar een systeem waarin de energie hernieuwbaar en duurzaam is. Het is ook de transitie van een systeem gebaseerd op een lineaire economie naar een systeem gebaseerd op een circulaire economie, waar de waarde van grondstoffen behouden blijft. Door ontwerpgericht onderzoek toe te passen, ontstaan voor Hogeschool Rotterdam en de met haar samenwerkende bedrijven de beste kansen om hierin verder te komen.

Ontwerpgericht onderzoek

Onderzoek en onderwijs gericht op de transities van energie en grondstoffen vertonen al snel een grote mate van diversiteit. Het gaat om complexe vraagstukken die lastig zijn om op te lossen, omdat het systeem onvoorspelbare interacties vertoont. Binnen mijn lectoraat hebben we een gemeenschappelijke aanpak: de *design science research method*, een methode voor ontwerpgericht onderzoek. Figuur 7 geeft een



Figuur 7 Elementen van de design science research method (Lange, 2022)

variant hiervan weer, gebaseerd op het onderzoek van Kasper Lange (Lange, 2022). Deze aanpak geeft sturing aan de onderzoekers op het gebied van de circulaire energietransitie en het geeft richting aan de kennisontwikkeling binnen het onderwijs in dit domein.

Design science research kent een ontwerpcyclus (*design cycle*) waarin verschillende soorten producten worden ontworpen. Deze producten kunnen technisch van aard zijn (zoals een *electrolyser* om waterstof mee te produceren), maar ook meer conceptueel (zoals een systeemmodel om de implementatie van waterstof in de energiemarkt te beschrijven). De producten die voortkomen uit de *design cycle* worden getest en geëvalueerd. Er vindt aan twee kanten uitwisseling van gegevens plaats: aan de ene kant via een toets aan de praktijk (*relevance cycle*) en aan de andere kant via een toets door middel van wetenschappelijk onderzoek (*rigor cycle*).

De *relevance cycle* verbindt de ontworpen producten met hun maatschappelijke en economische context. Dit is precies de reden waarom het ontwerpproces voor de circulaire energietransitie een interdisciplinair karakter heeft. Afhankelijk van de infrastructuur, de organisatievorm of omliggende processen moeten er tijdens het ontwerp keuzes worden gemaakt. Ontwerpgericht onderzoek stelt daarom de juiste vragen om een technisch ontwerp zo goed mogelijk in te passen in maatschappij en markt.

De *rigor cycle* zorgt voor de nodige theoretische kennis om het ontwerp te voeden met de laatste inzichten. Bij onderzoek aan Hogeschool Rotterdam zullen theorieën en inzichten vooral komen uit lopend onderzoek in andere kennisinstellingen. De nadruk bij de hogeschool ligt op de linkerkant van Figuur 7, zoals ik hieronder verder zal uitwerken. Dat neemt niet weg dat zowel in het onderwijs als in het onderzoek binnen het kenniscentrum, de laatste stand van zaken op het gebied van wetenschappelijke output bekend moet zijn. Dit vraagt van studenten en docenten een onderzoeksgerichte mentaliteit.

Hieronder volgen drie voorbeelden van lopend onderzoek binnen mijn lectoraat, waarmee ik twee dingen wil aanstippen. In de eerste plaats de diversiteit aan materialen en technische aspecten waarmee ik me in mijn eerste jaar als lector heb beziggehouden en die wat mij betreft een goede illustratie vormen van de breedte aan onderwerpen binnen de circulaire energietransitie aan Hogeschool Rotterdam. In de tweede plaats wil ik hiermee laten zien hoe de *design science research method* in de praktijk uitwerkt.

Onderzoek naar nieuwe stoomproductie: van aardgas naar waterstof

In Rotterdam staan naar schatting meer dan duizend industriële boilers die op basis van aardgas zorgen voor de stoomproductie in de chemie en andere havenactiviteiten. Het gaat hier om hogedrukstoom die fungeert als energiedrager in bijvoorbeeld raffinageprocessen en ook als reactant in bijvoorbeeld de productie van waterstof uit aardgas door middel van *steam reforming*. Vermindering van het gebruik van aardgas is voor de meeste bedrijven de eerste stap in de energietransitie.

Er zijn grofweg twee routes om met minder aardgas toch te voorzien in de vraag naar stoom voor de industrie. De eerste route loopt via meer efficiëntie en procesoptimalisatie, waarbij er met de *pinch*-analyse kan worden gezocht naar een verbeterde *process layout*, waarbij minder energie nodig is. Deze route bespreek ik hier niet, omdat die uitgebreid onderwerp is van het al eerder genoemde lectoraat onder leiding van mijn collega Marit van Lieshout.

De tweede route loopt via het gebruik van hernieuwbare energiebronnen en dat wil in de meeste gevallen zeggen: door meer elektrificatie. Het voordeel daarvan is dat er meerdere energiebronnen beschikbaar zijn om elektriciteit te maken, waar vervolgens de stoomboilers mee worden aangedreven. Volledige elektrificatie heeft echter twee grootschalige consequenties: het vereist namelijk een enorme verzwaring van het elektriciteitsnet en dus immens grote infrastructurele aanpassingen. Daarnaast betekent het dat alle stoomboilers moeten worden vervangen door elektrische exemplaren.

Een tussenoplossing is het inzetten van waterstof. De aanvoer van waterstof verloopt via pijpleidingen. Per strekkende meter waterstofleiding wordt veel meer energie getransporteerd dan door eenzelfde lengte aan hoogspanningsleiding, dus de infrastructurele aanpassingen zijn veel minder kostbaar. Of de waterstof wordt ter plekke gemaakt bij voldoende beschikbaarheid van elektriciteit. Het grootste voordeel is echter dat gangbare aardgasgedreven stoomboilers zijn om te bouwen naar het gebruik van waterstof als brandstof. Het is dus niet nodig om de gehele boiler te vervangen, volstaan kan worden met het vervangen van de branders en de aanvoersystemen.

In het onderzoek naar de omschakeling van stoomboilers van aardgas naar waterstof werkt de ontwerpgerichte methode als volgt. De *rigor cycle* richt zich in deze casus op thermodynamica, stromingsleer, verbrandingstechnologieën of constructieleer. Deze kennis is ruim aanwezig binnen het instituut voor Engineering and Applied Science (EAS) binnen Hogeschool Rotterdam bij opleidingen als werktuigbouwkunde,

elektrotechniek en chemie. Dit betekent dat meerdere docenten kunnen bijdragen aan het herontwerp dat nodig is voor de transitie naar waterstof.

De *relevance cycle* vraagt om een goed begrip van de context. Het gaat om de vervanging van bestaande en kostbare installaties en de focus ligt daarbij op behoud van kwaliteit en op reductie van de broeikasgassen. Hierbij zal voortdurend de vraag moeten worden gesteld onder welke condities een upgrade van de stoomboiler van aardgas naar waterstof de meest geschikte route is, of dat er alsnog moet worden gekozen voor vervanging door elektrische productie. Dit betekent onder andere dat de kosten moeten worden berekend en de milieueffecten moeten worden geanalyseerd. Hiervoor is kennis nodig van methodes als *life cycle costing* en *life cycle assessment*; kennis van deze tools is gedeeltelijk wel aanwezig, maar kan nog verder worden versterkt binnen de genoemde opleidingen.

De *rigor cycle* en de *relevance cycle* komen samen in de *design cycle*. Docenten zullen samen met studenten werken aan het ontwerp van de meest geschikte verbrandingskamer of het transport van waterstof naar en binnen de brander. Zij doen daarbij meteen praktijkervaring op met de genoemde theoretische onderbouwing. Door ontwerpen te maken en die in de praktijk te toetsen, helpt het lectoraat het bedrijfsleven daadwerkelijk om de voorliggende keuzes te maken: wel of niet overstappen op waterstof, wel of niet vervangen van de boiler? Er kan uitgebreid geëxperimenteerd worden met verschillende types branders en verschillende regimes van stoomdruk en stoomtemperatuur. Dit betekent dat bij het ontwerpen zowel circulaire principes een rol spelen (waardebehoud van de installaties, levensduurverlenging) als principes van de energietransitie (inzet van *renewables*, alternatieve energiedragers).

Om veilig met waterstofopstellingen te kunnen werken, moeten docenten en studenten veiligheidstrainingen volgen. Dit is een mooie bijvangst van deze casus, het betekent namelijk een stukje professionalisering voor de docenten en het betekent dat ingenieurs van de toekomst de markt betreden met praktijkervaring rond waterstof. Daarnaast is het de ambitie om het onderzoek naar de inzet van waterstof in de industrie verder te gaan uitbouwen naar het gebruik van brandstofcellen en de inzet van waterstof voor mobiliteit. Dit ontwerpgerichte onderzoek naar waterstof kan daarmee een mooie bijdrage leveren aan de ambitie van Hogeschool Rotterdam om via het waterstoflab in het Innovation Dock een belangrijke kennispartner te worden voor de bedrijven in de regio.

Onderzoek naar productie van biobrandstof op basis van organisch afval

Van groot belang voor het succes van de circulaire energietransitie is de ontwikkeling van een grote diversiteit aan energiedragers. Hierboven heb ik de energiedrager

waterstof al besproken, en ik zou daarbij ammoniak, mierenzuur of methanol willen noemen. Dit zijn voorbeelden van energiedragers die via chemische en elektrochemische routes kunnen geproduceerd worden met behulp van alternatieve energiebronnen.

Een andere benadering is het produceren van energiedragers uit afvalstromen. Uiteraard is het mogelijk om direct warmte en daarmee ook elektriciteit te maken uit afval, maar hierbij gaat elke overige waarde van het materiaal verloren. Het volgt uit circulair denken om afval niet direct te verbranden, maar eerst om te zetten naar een brandstof die een hogere kwaliteit heeft dan alleen warmte. Dit heeft als bijkomend voordeel dat zo'n brandstof gemakkelijk kan worden opgeslagen, getransporteerd of gebruikt in mobiele toepassingen.

Zowel in de stad en de haven als in het tuinbouwgebied (Westland) is er een enorme productie van organisch afval in combinatie met plastics. Het is niet altijd mogelijk om dit afval te scheiden, en in de huidige situatie gaat het afval daarom meteen de verbrandingsoven in. Mijn lectoraat ondersteunt het project 'HydroCat'. Dat is een initiatief van Obbotec in samenwerking met Plant One in Rozenburg (Obbotec, z.d.) waarin een modulaire en mobiele installatie wordt gebouwd, die een mengstroom



Figuur 8 Artist impression van de HydroCat 3 (NPT, z.d.)

van organisch afval en plastic in een grote variatie kan omzetten in een biobrandstof. De reden om hiervoor een mobiele opstelling te maken, is dat deze afvalstromen vaak heel lokaal of seizoensgebonden zijn (denk aan GFT in de zomer, tuinkas-afval meerdere keren per jaar, of afvalstromen uit festivals of toerisme). In Figuur 8 staat een *artist impression* van de mobiele opstelling HydroCat 3, zoals die is beschreven in een artikel van de Nederlandse Procestechnologie (NPT, z.d.). Een tweede reden om te denken in termen van een fabriek op de schaal van een zeecontainer, is dat er hiermee een heel mooie kans ontstaat om snel en effectief te kunnen opschalen. Door meerdere containers aan elkaar te verbinden kan er centraal een grote afvalstroom worden verwerkt. Daarbij kan tevens de afweging worden gemaakt dat bij toenemende lengte van afvaltransportroutes er juist ook gekozen kan worden voor decentrale verwerking.

In de termen van de ontwerpgerichte aanpak, betekent dit dat de *rigor cycle* wordt gevoed met inzichten vanuit de procestechnologie (pyrolyse en opwerking van het afval), elektrotechniek (procesregeling) en chemie (analyse en synthese). Docenten en studenten uit deze beroepenvelden hebben daarmee de kans om hun kennis en vaardigheden in te zetten en verder te ontwikkelen bij het bouwen aan een demonstratiefabriek.

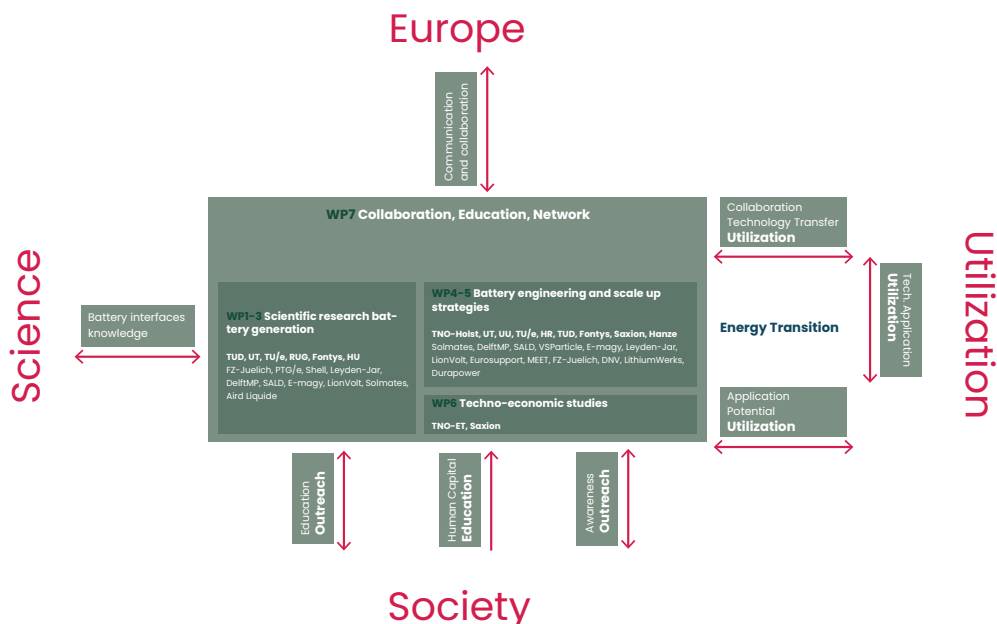
De *relevance cycle* van deze innovatie richt zich erop dat het onderwerp van duurzame afvalverwerking goed aansluit bij meerdere initiatieven in de regio. Het is interessant om bij nieuwe technieken te bekijken of ze opgeschaald kunnen worden naar de grote industrie. De kracht van het HydroCat-project is dat het een mobiel en modulair ontwerp betreft, zoals hierboven al werd toegelicht.

In de *design cycle* komen de genoemde zaken samen. Hoe kan een dergelijke technologie veilig en betrouwbaar worden gebruikt onder verschillende omstandigheden? Hoe kan er een grote variëteit aan afval worden verwerkt en tegelijkertijd de kwaliteit van het eindproduct gewaarborgd blijven? Mijn lectoraat ondersteunt dit initiatief door studenten vanuit verschillende opleidingen binnen Hogeschool Rotterdam te laten werken aan de pilotopstelling in Plant One. Daarbij is ook de mbo-opleiding Procestechnologie en Onderhoud van het Scheepvaart en Transportcollege (STC) betrokken, zodat deze casus daarmee meteen een mooi voorbeeld is van samenwerking in de Human Capital Agenda.

Onderzoek naar de circulaire batterij van de toekomst

In het najaar van 2022 is het NWA-project 'BatteryNL' van start gegaan. Het project wordt uitgevoerd door een groot consortium van verschillende stakeholders vanuit de universiteiten, hogescholen (waaronder Hogeschool Rotterdam) en kennisinstellingen. Het doel van het project is om duurzame en circulaire batterijsystemen te ontwikkelen,

wat een duidelijk voorbeeld is van de combinatie van energietransitie en circulaire economie. Energieopslag en daarmee dus ook batterijtechnologie is onontbeerlijk voor de circulaire energietransitie. De nieuw te ontwikkelen batterijtechnologie van 'BatteryNL' neemt daarbij ook circulaire principes mee, zo houdt het ontwerp rekening met levensduur en *end-of-life* van de batterij. In Figuur 9 wordt een overzicht gegeven van (de samenhang tussen) de elementen van het project.



Figuur 9 Elementen van het project 'BatteryNL'

De *rigor cycle* van 'BatteryNL' wordt gevoed vanuit wetenschappelijke instellingen, binnen Hogeschool Rotterdam sluiten hier vooral de kennisterreinen aan van batterijmanagementsystemen, industrieel productontwerpen, chemie en automotive. Het gaat hier om praktijkgericht onderzoek gecombineerd met het doordenken van het hele opslagsysteem van de grondstof voor de batterij tot aan de inzet van batterijpakketten voor bijvoorbeeld mobiliteit.

De *relevance cycle* heeft in dit project twee kanten: er is een grote behoefte in het Nederlandse bedrijfsleven aan opschaalbare opslagtechnologie en er is het internationale vraagstuk van beschikbare materialen voor batterijproductie. De ambitie van 'BatteryNL' is om deze twee opgaven samen te nemen en een nieuwe generatie batterijen te realiseren, waarin juist ook de Nederlandse industrie een cruciale rol gaat spelen. Dit betekent dat in het praktijkgerichte onderzoek van dit

project er specifiek aandacht is voor de maatschappelijke implementatie en de economische impact.

In de ontwerpfase, de *design cycle*, zal er interdisciplinair worden samengewerkt om kennis vanuit het wetenschappelijke onderzoek door te vertalen naar het productontwerp van batterijsystemen en het systeemontwerp voor de inzet van de batterijtechnologie. 'BatteryNL' levert daarmee een goede basis voor verder onderzoek naar de energieopslagketen. Ik heb al in het eerste hoofdstuk aangegeven dat de wisselende aanvoer van energie een kenmerk is van de inzet van alternatieve energiebronnen. Wind, zon, getijden en seizoenen zorgen ervoor dat de energietransitie alleen maar kan worden versneld als er ook wordt gewerkt aan een dynamische regeling van de energiemarkt. Dit heeft te maken met de economische kant van de markt, waar prijzen dalen en stijgen, maar ook met de opschaalbaarheid van opslagsystemen. Naast batterijtechnologie kan waterstof hierin ook een belangrijke rol spelen. In mijn lectoraat zal ik daarom extra oog hebben voor innovaties op het gebied van energieopslag en samen met het bedrijfsleven zoeken naar oplossingen voor praktijkvragen.

De rigor cycle en design cycle binnen het Instituut voor Engineering and Applied Science

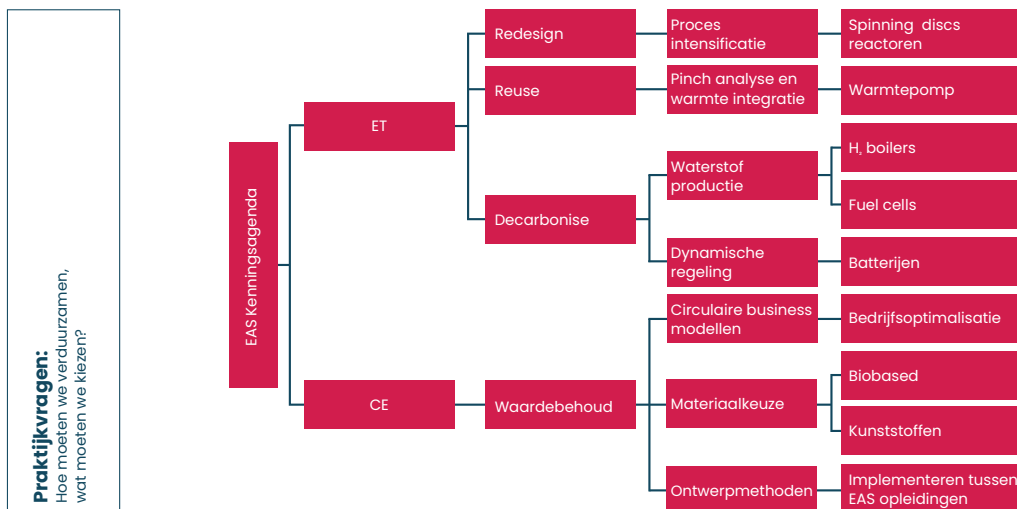
Mijn lectoraat staat niet op zich, het maakt deel uit van het Kenniscentrum Duurzame Havenstad binnen het Centre of Expertise HRTech. Daarnaast werk ik intensief samen met het instituut voor Engineering and Applied Sciences (EAS), waarin de meeste van de genoemde opleidingen zijn vertegenwoordigd. Binnen EAS is er al geruime tijd veel aandacht voor de sterke onderlinge relatie tussen energie en circulariteit.

Daarom was het voor mij als nieuw binnengekomen lector een groot genoegen om samen met mijn collega's Marcel den Hollander en Marit van Lieshout een ronde te maken langs alle EAS-opleidingen en daaruit te concluderen welke richting we op moeten denken als het gaat om de combinatie van energietransitie en circulaire economie. Vanuit de praktijk horen wij steeds van allerlei soorten bedrijven de vraag: 'Hoe moeten we verduurzamen, hoe moeten we kiezen?' Eerder heb ik dit al 'keuzestress' genoemd. En dat heeft soms te maken met een gebrek aan expertise, gebrek aan tijd om de laatste nieuwe innovaties bij te houden of gebrek aan slagkracht om grote investeringen te doen. Er is kortom vanuit de praktijk een grote behoefte aan een systematische en geïntegreerde aanpak van de circulaire energietransitie.

In het begin van dit hoofdstuk heb ik betoogd dat een ontwerpgerichte aanpak het beste past bij de praktijkvragen van het onderzoek aan de hogeschool. Daarnaast is het nodig om nog specifiekier te maken welke kennis binnen EAS aanwezig is, die de basis is voor de *rigor cycle*, en welke vaardigheden de docenten hebben of zouden moeten hebben om de basis te leggen voor de *design cycle*. Figuur 10 geeft een aantal

oplossingsrichtingen en domeinen aan, die ik samen met bovengenoemde collega-lectoren heb opgehaald tijdens onze kennismakingsgesprekken met de opleidingen binnen EAS. Ik licht deze figuur nader toe.

Oplossingsrichtingen en domeinen



Figuur 10 Ontwerpgericht onderzoek op het gebied van energietransitie en circulariteit binnen EAS

Versnellen van de circulaire energietransitie betekent gezamenlijk werken aan de energietransitie (ET) en de circulaire economie (CE). Figuur 10 moet daarom gelezen worden als de agenda voor kennisontwikkeling waarbij CE en ET worden geïntegreerd. Binnen de thema's ET en CE is er een viertal oplossingsrichtingen, die vervolgens worden opgesplitst in een aantal domeinen. De meeste rechtse kolom in Figuur 10 geeft een aantal specifieke toepassingen aan. Deze EAS-kennisontwikkelingsagenda is vooral bedoeld als aanzet voor het in kaart brengen welke kennis er al is en waar er nog versterking of uitbreiding nodig is.

Dit betekent dat de *applied science*-opleidingen (chemie, biomedisch laboratorium-onderzoek) binnen EAS zich meer zouden kunnen gaan bezighouden met de ontwerpende kant van de circulaire energietransitie. Deze opleidingen zijn al sterk ontwikkeld wat betreft de relatie met de *rigor cycle*, maar kunnen nog versterkt worden met inzichten en vaardigheden vanuit de *design cycle*. In de praktijk kan dit betekenen dat derdejaarsstudenten in hun zesde semester aan complexe vraagstukken werken waarvoor niet alleen kennis van chemie of biologie nodig is, maar ook kennis van de markt en het beleid. En waarvoor de engineering-aanpak van andere opleidingen nodig is om praktijkgerichte oplossingen te bedenken in samenspraak met het bedrijfsleven.

Het betekent dat de *engineering*-opleidingen binnen EAS (automotive, electrotechniek, industrieel product ontwerpen, technische bedrijfskunde, werktuigbouwkunde) alleen succesvol kunnen werken aan circulariteit en de energietransitie als er ook een sterke verbinding is met de *rigor cycle*. Dit vraagt bijvoorbeeld om een basiskennis in alle opleidingen van chemie, om zinvol te kunnen blijven werken aan een waterstofeconomie. Of een basiskennis van fysica om op die manier goed te begrijpen hoe warmteoverdracht werkt of hoe verschillende energiedragers te karakteriseren zijn aan de hand van calorische waarde. Dit kan op een vergelijkbare manier worden ingevuld voor circulariteit; elke EAS-student zou enige kennis moeten hebben van materiaaleigenschappen van metalen of kunststoffen. En in ieder geval ook iets moeten weten van grondstoffenbeheer en de keten van productieprocessen om materialen te gebruiken en te hergebruiken.

Tot slot

Hierboven heb ik drie projecten kort toegelicht, waarmee ik heb willen illustreren hoe de verschillende ambities en doelstellingen van mijn lectoraat samenkomen. Deze drie projecten dekken zeker niet het geheel van de circulaire energietransitie af. Ze zijn bedoeld om te laten zien hoe praktisch en tegelijk uitdagend de gezamenlijke aanpak van energietransitie en circulariteit vorm kan krijgen in mijn lectoraat in samenwerking met de opleidingen van EAS. In het hierna volgende hoofdstuk zal ik laten zien hoe ik de toekomst van mijn lectoraat aan Hogeschool Rotterdam voor me zie.

Lectoraat en de circulaire energietransitie

In de voorgaande hoofdstukken heb ik meerdere vormen van sterke onderlinge relaties genoemd, zoals de relatie tussen wetenschap en praktijk, die gestalte krijgt in het ontwerpgerichte onderzoek. Of bijvoorbeeld de relatie tussen markt en technologie, die nodig is om goede ideeën niet alleen te ontwerpen, maar ook te implementeren en verder op te schalen samen met de industrie. Een voorbeeld hiervan vormen de circulaire industriële bedrijventerreinen, waarbij het afval van het ene bedrijf kan worden gebruikt als grondstof voor een ander bedrijf. Of waar gezamenlijk wordt gewerkt aan waterbeheer of energieopwekking, om op die manier het bedrijventerrein in zijn geheel te verduurzamen. Ik zie een grote overeenkomst tussen het streven naar circulaire energietransitie en industriële symbiose. In beide thema's gaat het om het aanbrengen van een relatie tussen verschillende onderwerpen, die elkaar daarmee kunnen versterken.

Mijn lectoraat zal daarom steeds de verbinding zoeken tussen het maatschappelijk debat over verduurzaming van de industrie en de techno-economische innovatie die daarvoor nodig is. Hierbij zoek ik uitdrukkelijk de verbinding met andere instituten en opleidingen binnen Hogeschool Rotterdam. Zo ben ik als lector betrokken bij de ontwikkeling van nieuw hogeschoolbreed onderwijs in de vorm van de keuzevakken 'Recharge Earth' en 'Energie en Grondstoffen in Transitie'. Afgeleid daarvan zal ik me ook inzetten voor de ontwikkeling van een studium-generaleprogramma waarin alumni, maar ook beleidsmakers en andere geïnteresseerden uit de regio zich kunnen laten bijspijkeren op het gebied van circulariteit en energietransitie.

In het begin stelde ik de vraag: 'Hoe zorgen we als maatschappij ervoor dat de energietransitie samenhangt met en onderdeel is van de circulaire economie en welke kennis moet Hogeschool Rotterdam in huis hebben en verder ontwikkelen om dit te faciliteren?' Deze openbare les heeft ruimschoots laten zien dat energietransitie en circulariteit samen moeten gaan in de circulaire energietransitie. Om succesvol te kunnen werken aan de circulaire energietransitie heeft Hogeschool Rotterdam al veel kennis in huis, die via ontwerpgericht onderzoek naar buiten kan worden gebracht. In samenwerking met de Rotterdamse industrie zijn er mooie projecten te definiëren, waarvan ik drie voorbeelden heb gegeven. Uit deze projecten zal volgen welke kennis nog verder ontwikkeld moet worden. De expertise die al in huis is bij de docenten en studenten van Hogeschool Rotterdam en de kennis die volgt uit het werken aan praktijkopgaven, zal een mooie combinatie van gerelateerde kennis opleveren waarmee de circulaire energietransitie een grotere versnelling kan krijgen.

Literatuurlijst

- BeroepsonderwijsBedrijfsleven. (2021). *Energietransitie, circulariteit en klimaatadaptatie*. Samenwerkingsorganisatie Beroepsonderwijs Bedrijfsleven
- EIT Raw Materials. (z.d.). Opgeroepen op november 21, 2022, van <https://eitrawmaterials.eu/>
- Energy Information Administration. (z.d.). Opgeroepen op november 21, 2022, van <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=42342>
- European Commission. (z.d.). Opgeroepen op november 21, 2022, van <https://eur-lex.europa.eu/homepage.html>
- European Union. (z.d.). Opgeroepen op november 21, 2022, van https://climate.ec.europa.eu/eu-action/carbon-capture-use-and-storage_en
- Goldsmith, E., & Allen, R. (1972). *A Blueprint for Survival*. Tom Stacey
- Hogeschool Rotterdam. (z.d.). Opgeroepen op november 21, 2022, van <https://www.hogeschoolrotterdam.nl/hogeschool/duurzaam/>
- Koninklijke VNCI. (2021). *Van Routekaart naar Realiteit*. Koninklijke VNCI
- Lange, K. P. (2022). *Simulating industrial symbiosis - Understanding and shaping circular business models for viable and robust industrial symbiosis networks through collaborative modelling and simulation*. Delft University of Technology
- Lieshout, M. (2017). *Visie op de toekomst van de Nederlandse procesindustrie en de rol van het lectoraat Procesoptimalisatie en -intensificatie bij de realisatie daarvan*. Hogeschool Rotterdam
- McDonough, W., & Braungart, M. (2007). *Cradle to Cradle - Remaking the Way We Make Things*. North Point Press
- NPT. (z.d.). Opgeroepen op november 21, 2022, van http://npt.pmg.nl/nl/dossier/EPTbe2145W04_00/pioniers-schalen-op-in-plant-one-rotterdam
- Obbotec. (z.d.). Opgeroepen op november 21, 2022, van <https://obbotec.com/hydrocat-technologie/>
- Our World in Data. (z.d.). Opgeroepen op november 21, 2022, van <https://ourworldindata.org/grapher/global-energy-consumption-source>
- Rotmans, J. (z.d.). Opgeroepen op november 21, 2022, van <https://www.janrotmans.nl/transities-en-transitiekunde/>
- Sociaal-Economische Raad. (2022). *Evenwichtig sturen op de grondstoffentransitie en de energietransitie voor brede welvaart*. Sociaal-Economische Raad
- Technische Universiteit Delft (a). (z.d.). Opgeroepen op november 21, 2022, van <https://www.tudelft.nl/oceanenergy/research/thermal-gradient-otec>
- Technische Universiteit Delft (b). (z.d.). Opgeroepen op november 21, 2022, van <https://www.tudelft.nl/oceanenergy/research/tidalcurrent-energy>

TKI Energie en Industrie. (z.d.). Opgeroepen op november 21, 2022, van <https://topsectorenergie.nl/tki-energie-en-industrie>

Topsector Energie. (z.d.). Opgeroepen op november 21, 2022, van <https://topsectorenergie.nl/human-capital-agenda>

United Nations. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. Oxford University Press

United Nations. (z.d.). Opgeroepen op november 21, 2022, van <https://sdgs.un.org/goals>

Over de auteur

Gijsbert Korevaar studeerde Scheikundige Technologie aan de TU Delft van 1992 tot 1998. Hij rondde in 2003 zijn proefschrift af met de titel *Design of sustainable processes and products*. Sindsdien heeft hij gepubliceerd over en onderzoek gedaan naar onder andere de warmtetransitie, duurzame bedrijventerreinen, industriële symbiose, terugwinning van grondstoffen uit afvalwater en complexiteitsvraagstukken rond duurzaamheid en bestuur. Gijsbert is universitair docent aan de TU Delft op het gebied van *industrial symbiosis*. Hij was intensief betrokken bij de opstart van en geeft mede leiding aan het Delft Circularity Lab, en was van 2004 tot 2012 mede-initiatiefnemer en opleidingsdirecteur van de masteropleiding Industrial Ecology.

Gijsbert is sinds 1 september 2021 voor twee en een halve dag per week lector Circulaire Energietransitie aan Hogeschool Rotterdam. Hij wil de twee grote maatschappelijke bewegingen op het gebied van energietransitie en circulaire economie, gezien hun onderlinge afhankelijkheid, met elkaar combineren en verbinden. Met zijn expertise hoopt hij een bijdrage te kunnen leveren aan de verduurzaming van de industrie, aan het ontwerpgericht onderzoek aan Hogeschool Rotterdam en aan verdere aandacht voor circulariteit en energietransitie binnen het onderwijs. Gijsbert wil binnen de hogeschool zijn ervaring en kennis gebruiken om bedrijven en overheden in en rond Rotterdam te laten zien hoeveel meer zij nog kunnen bereiken om deze mooie stad en haven klaar te maken voor een duurzame toekomst.

Dankwoord

In het begin van deze openbare les verwees ik al naar allerlei soorten gesprekken die ik heb gevoerd en nog steeds voer over mijn motivatie om te werken aan verduurzaming. De thematiek van dit boekje is op dit moment hoogst actueel, middenin een energiecrisis en een grondstoffencrisis moeten we op zoek naar oplossingen en oplossingsrichtingen. Het is een grote uitdaging om uit de enorme hoeveelheid aan praktijkvragen, die vragen op te pakken, waarop het antwoord daadwerkelijk verder gaat helpen om Rotterdam en Nederland een duurzame weg in te doen slaan.

Het vinden van deze weg en het bedenken van de juiste richting, kan niet zonder een heel team van goede mensen om mij heen. Ik heb uitgerekend dat ik in het afgelopen jaar met zo'n veertig mensen ben gaan samenwerken sinds mijn start aan Hogeschool Rotterdam. Hen allen bij name noemen, zou teveel van het goede zijn, maar dat neemt niet weg dat ik ieder om zijn of haar bijdrage zeer waardeer, zeker ook vanwege alle nieuwe inzichten die ik door deze samenwerkingen heb mogen ontvangen.

Aan het einde van dit verhaal, wil ik u, beste lezer, meenemen aan de hand van de eerste stappen, die ik heb gezet om mijn lectoraat vorm te geven en uit te bouwen. Op die manier kan ik, zij het in vogelvlucht, laten zien hoe mijn kennismaking ging met Hogeschool Rotterdam en hoe leuk het is om in deze organisatie te werken. Al wil ik dan wel eerst beginnen met de plek waar ik vandaan kwam, namelijk te midden van mijn collega's aan de faculteit Techniek, Bestuur en Management aan de Technische Universiteit Delft. Dat mijn gedeeltelijke overstap naar Hogeschool Rotterdam tevens betekende dat ik een aantal taken moest overdragen aan anderen, stond de goede verhoudingen binnen onze afdeling aan de TU Delft niet in de weg. Integendeel zelfs, het lectoraat opent weer heel nieuwe kansen om mijn onderzoek binnen de TU Delft te versterken met samenwerking vanuit het HBO.

"Een lector ben je niet meteen, maar dat ga je worden na verloop van tijd." Dat is een typerende uitspraak van Liek Voorbij, die ik bij deze heel hartelijk wil bedanken voor haar manier van leidinggeven en coachen in het traject van aanstelling tot de totstandkoming van dit boekje. Van Liek heb ik veel geleerd over hoe ik mezelf verder kan ontwikkelen en stevig kan neerzetten als lector, ik hoop van die wijze lessen nog vele jaren profijt te hebben.

Ik herinner me nog goed de eerste afspraak die ik had met Erik van Dijk. Vanaf de allereerste minuut was het duidelijk dat werken aan de energietransitie in combinatie met circulaire economie echt wel ergens over moet gaan. Niet blijven steken in mooie

woorden of in visiedocumenten, maar aanpakken en zorgen dat al het werk dat wij op Heijplaat doen ervoor gaat zorgen dat dit de 'place-to-be' wordt voor bedrijven en overheden.

Op 2 september 2021, oftewel mijn eerste werkdag op Hogeschool Rotterdam, leidde Mirjam van den Bosch mij rond op Academieplein en liet daar trots zien welke mooie faciliteiten beschikbaar zijn voor de Engineering and Applied Sciences opleidingen. Ze maakte mij daarmee meteen duidelijk dat ik als lector ook zoveel mogelijk de aansluiting moet zoeken met docenten en onderwijsmanagers. Ik ben haar nog steeds zeer erkentelijk voor deze stevige introductie. Die eerste rondleiding resulteerde in vele gespreksrondes met de opleidingen van EAS die vervolgens weer hebben geleid tot de kennisontwikkelingsagenda die in deze openbare les terugkomt als Figuur 10. Het waren mooie en waardevolle gesprekken, die tevens een start waren van allerlei soorten samenwerking met docenten, hoofddocenten en onderwijsmanagers.

Een complexe organisatie als Hogeschool Rotterdam leren kennen, kost tijd en ik zal daar voorlopig nog wel even zoet mee zijn. Mijn lidmaatschap van de promotievouchercommissie, helpt me wel om sneller de breedte en de diepte van het onderzoek binnen alle instituten te leren kennen. Ik dank daarom ook op deze plaats mijn mede-commissieleden voor de manier waarop we heel zorgvuldig en gedegen de onderzoeksplannen van toekomstige promovendi kunnen wegen en waar mogelijk van constructieve feedback kunnen voorzien.

Deze openbare les wordt gepresenteerd samen met een documentaire. Tijdens de productie daarvan heb ik intensief samengewerkt met Stefan de Graaff. Ik kijk met veel genoegen terug op de dagen dat wij samen op pad gingen en mooie interviews hebben opgenomen. Waarbij ik veel dank ben verschuldigd aan Marit van Lieshout, Diederik Jaspers, Walter Legerstee en Ester van der Voet voor de wijze waarop ze hebben meegedacht en zich hebben uitgesproken over mijn plannen voor de circulaire energietransitie.

In september 2021 begon niet alleen ik als lector, vanaf het begin hebben Jeroen Pruijn, Marcel den Hollander en ik elkaar steeds weer opgezocht om uit te vinden wat het betekende om lector te worden binnen Hogeschool Rotterdam. Ik wil hen hartelijk dank voor de collegiale manier waarop deze samenwerking tot stand is gekomen en ik hoop zeer dat die nog heel wat jaren stand zal houden. Met het noemen van deze drie namen, wil ik ook alle andere mede-lectoren en verdere collega's van het Kenniscentrum Duurzame Havenstad hartelijk danken voor de manier waarop ik van start kon gaan en ik kijk uit naar nog vele jaren van goede samenwerking.

Eerdere uitgaven

Hogeschool Rotterdam Uitgeverij



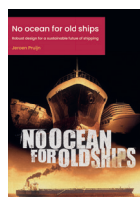
Ontwerpen en produceren voor waardebehoud in een circulaire economie

Auteur Marcel den Hollander

ISBN 9789493012363

Verschijningsdatum januari 2022

Aantal pagina's 89



No ocean for old ships Robust design for a sustainable future of shipping

Auteur Jeroen Pruijn

ISBN 9789493012387

Verschijningsdatum januari 2022

Aantal pagina's 51



Implementatie zorgtechnologie Samen zorgen dat het kan!

Auteur Helma Kaptein

ISBN 9789493012349

Verschijningsdatum november 2022

Aantal pagina's 96



“Ik heb geen probleem”

Auteur Arie de Wild

ISBN 9789493012370

Verschijningsdatum oktober 2022

Aantal pagina's 80



Cybersocial Design

Auteur Anja Overdiek

ISBN 9789493012288

Verschijningsdatum juli 2022

Aantal pagina's 72



Civic Prototyping

Auteur Tomasz Jaśkiewicz

ISBN 9789493012325

Verschijningsdatum juli 2022

Aantal pagina's 80



Auteur Komala Mazerant-Dubois

Auteur Komala Mazerant-Dubois

Verschijningsdatum mei 2022

Verschijningsdatum mei 2022

Aantal pagina's 176



Auteur Leonie le Sage

Auteur Leonie le Sage

Verschijningsdatum januari 2022

Verschijningsdatum januari 2022

Aantal pagina's 104



Auteur Ruud van der Horst

Auteur Ruud van der Horst

Verschijningsdatum december 2021

Verschijningsdatum december 2021

Aantal pagina's 88



Auteur Kees Klomp

Auteur Kees Klomp

Verschijningsdatum november 2021

Verschijningsdatum november 2021

Aantal pagina's 144



Auteur Toby Witte

Auteur Toby Witte

Verschijningsdatum november 2021

Verschijningsdatum november 2021

Aantal pagina's 68



Auteur Lia Voerman

Auteur Lia Voerman

Verschijningsdatum oktober 2021

Verschijningsdatum oktober 2021

Aantal pagina's 96



Innovatiesucces in het mbo

Auteur John Schobben

ISBN 9789493012196

Verschijningsdatum mei 2021

Aantal pagina's 200



De waarde(n) van onderwijs

Auteur Carlos van Kan

ISBN 9789493012233

Verschijningsdatum april 2021

Aantal pagina's 96

Dr. ir. Gijsbert Korevaar

Energietransitie en circulariteit: onlosmakelijk met elkaar verbonden



Hoe vindt Nederland een weg uit de energiecrisis en grondstoffencrisis? In deze openbare les laat Gijsbert Korevaar, lector Circulaire Energietransitie, de sterke onderlinge afhankelijkheid zien tussen de energietransitie en het circulair omgaan met grondstoffen. De energietransitie en de circulaire economie zijn beide grote maatschappelijke bewegingen die een heel andere manier van kijken vragen van onderzoekers en docenten. De combinatie van de twee thema's heeft extra aandacht, omdat een duurzame energievoorziening niet vanzelf leidt tot circulariteit van de energiematerialen. Daarbij komt dat een circulaire economie een heel andere energievraag kent, waarbij het de uitdaging zal zijn om deze energievraag te laten landen in een duurzame energietransitie.

Met geïntegreerd ontwerpgericht onderzoek en aan de hand van drie praktijkvoorbeelden wordt aangetoond hoe de twee genoemde thema's met elkaar verbonden kunnen worden. Deze aanpak kan leiden tot mooie projecten met bedrijven en overheden binnen en buiten Rotterdam. Op deze manier krijgen de verduurzaming van de energievoorziening en de circulaire economie van de energiematerialen handen en voeten.