

Ketens van fossiele grondstoffen

Het is niet moeilijk om je de bitterheid en beschuldigingen voor te stellen die de internationale betrekkingen zouden kunnen beïnvloeden door wederzijdse verdenkingen over de omvang en het tempo van de vermindering van het verbruik van fossiele brandstoffen in verschillende landen.

C.L. Wilson, *et al.*, *Man's impact on the global environment: Assessment and recommendations for action* – Report of the Study of Critical Environmental Problems (SCEP) (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1970), 245.

Het gaat niet alleen om Onderzoek & Ontwikkeling, maar [tevens om] invoering van prototype-systemen om te concurreren om een toekomstig marktaandeel op basis van hun verbeterde prestaties die zijn verkregen uit de demonstratie-investeringen.

S.H. Schneider, *Science as a contact sport: Inside the battle to save earth's climate* (Washington, DC: National Geographic, 2009), 258. Stephen H. Schneider behoort tot het IPCC-collectief dat – samen met Al Gore – in 2007 de Nobelprijs voor de Vrede kreeg toegekend.

Grondstoffenefficiëntie en circulariteit alsmede veiligheid in de chemische industrie vereisen nieuwe procestechnologieën; de combinatie daarvan zal essentieel zijn om de EU-doelstelling van klimaatneutraliteit voor 2050 te bereiken.

Europese Commissie, *Transition pathway for the chemical industry* (Brussel: Europese Commissie, januari 2023), Annex 5, viii.

Is koolstofafvang en -opslag de oplossing? [W]e denken van niet – koolstofafvang en -opslag (CCS) is een modewoord. De reden dat het door regeringen wordt gesteund is dat als het zou werken het 'business-as-usual' mogelijk zou maken. Het is in feite een deel van de ontkenning. We maken onszelf wijs dat we niet hoeven te veranderen, dat we de vervelende CO₂ gewoon ergens 'weg' kunnen stoppen, waar het geen slechte dingen zal doen.

H. Washington en J. Cook, *Climate change denial: Heads in the sand* (London: Earthscan, 2011), 146.

Ketens van fossiele grondstoffen

Procestechnologie en de transitie naar duurzaamheid

Ton van Helvoort

Amsterdam University Press

Afbeelding omslag: iStock

Ontwerp omslag: Mijke Wondergem

Ontwerp binnenwerk: Crius Group, Hulshout

ISBN 978 94 6372 478 4

e-ISBN 978 90 4855 656 4

DOI 10.5117/9789463724784

NUR 680

© T. van Helvoort / Amsterdam University Press B.V., Amsterdam 2024

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Voor zover het maken van kopieën uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16B Auteurswet 1912 j° het Besluit van 20 juni 1974, Stb. 351, zoals gewijzigd bij het Besluit van 23 augustus 1985, Stb. 471 en artikel 17 Auteurswet 1912, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan de Stichting Reprorecht (Postbus 3051, 2130 KB Hoofddorp). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet 1912) dient men zich tot de uitgever te wenden.

Inhoudsopgave

Ketens onward: Inleiding	11
Verantwoording 11 Broeikasgassen 13 Grondstoffen als bijrijder van energie? 15 Afscheid van een verdienmodel 16 Samenwerking 19 Ketens 19 Opzet van het boek 21 Historische les? 22	
DEEL I FOSSIELE GRONDSTOFFEN	23
Delfstoffen en energie: het ontstaan van ‘regimes’ 26 Vervoer 27 Industrialisatie 28	
1. Steenkool en de industrie	29
Verenigd door steenkool 29 Het mijnbedrijf 31 Steenkool <i>versus</i> olie 33	
2. Olie en de industrie	36
De auto als aanjager 36 De ‘Koninklijke’ en Shell 38 Verticale integratie 38 Verknoping en netwerken 41 Het Midden-Oosten 42 Shell downstream 43 Contractors: dienstverlenende bedrijven 44	
3. Aardgas, Groningen en de industrie	46
Gasvoorziening lokaal 47 Een bel aardgas 48 Technologisch onderzoek en praktische vraagstukken 50 Energie <i>versus</i> grondstof 50	
DEEL II CHEMISCHE INDUSTRIE	55
4. Vroege successen van <i>chemical engineering</i>	59
Gewiekste katalysatoren 60 Duitsland 61 Procestechnologie heroverwogen 61 Nederland 62	
5. DSM – expansie en diversificatie	63
Schaalvoordelen en diversificatie 64 Naar Amerikaans voorbeeld 66 Terug naar de <i>core business</i> 66 Specialized Engineering Firms (SEF’s) 67 De bomen en het bos 68 Coda 69	
6. Shell – upstream en downstream	70
Exploratie en productie van aardolie: upstream 70 R&D voor downstream 71 Hycon: decennia aan ontwikkeling 73 R&D voor	

diversificatie 74 | Bewolking aan de *Blue Sky* 75 | Een *commodity* markt 76 | Wisseling van de wacht 78

7. **Proeffabrieken geïllustreerd: DSM en Shell** 79
Proeffabrieken DSM 79 | De katalysator als crux 80 | Proeffabrieken Shell 82 | Doorkraken 84

DEEL III ONDERZOEK EN ONTWIKKELING VOOR WELVAART 87

8. **Wetenschappelijk onderwijs en de overheid** 91
Vinding en commercie 93 | Het risico van een braindrain 95

9. **Proeffabriek: Leren en opschalen** 97
Flexibiliteit 99 | De proeffabriek gerecapituleerd 100 | PDP nieuwe stijl: modules 101 | Leren met een PDP 102 | De proeffabriek irrelevant maken? 103 | Realiteit of oefenmodel? 104

DEEL IV KEERZIJDEN VAN DE CHEMISCHE MEDAILLE 107

Diffuse milieuproblemen 110

10. **Chemie, milieu en controle** 112
Afval: de falende keteneconomie 112 | Normen, wetgeving en regulering 114

11. **Grenzen aan de groei** 115
Slechts één aarde 115 | Grenzen aan de aarde 116 | Systeemdenken 117 | Beperkingen en inventiviteit 118

12. **Industrie, groei en draagvermogen** 121
Golven van industrialisatie 122 | De mondiale milieubeweging 123 | Draagvermogen als duurzaamheid 125

DEEL V GEKETEND DOOR 'FOSSIEL' 129

13. **Levenscyclusanalyse en circulariteit** 132
LCA toegepast op processen 134 | Eco-ontwerpen 135 | Van LCA naar circulair 135 | Eco-innovaties 136

14. **Duurzaamheid: De aarde als een planeet** 138
Duurzaamheid *versus* circulaire economie 139

15. **Ketens hernieuwd gezien** 142
Critical Raw Materials (CRM's) 142 | EV's in verticale ketens: een herhaling van zetten 144

DEEL VI GLOBALISERING 147

16. **Globalisering en klimaatverandering** 151
Groei door verbranden 152 | Broeikasgassen breed gedefinieerd 154 | Het Akkoord van Parijs 157 | De Green Deal van de Europese Unie 158 | Global North *versus* Global South 161 | Slaat de biologie terug? 163

17. **Globaliserende kennis** 166
Uitbesteding en uitholling 167 | Innovatiesystemen 168 | De schaduwkant van groot 169 | Industriële R&D: einde van de groei 170 | Shell Research in de jaren tachtig: stand-by 170 | Het Researchinstituut van DSM: van corporate naar business 172 | DSM: Research en Development werkt – soms 173 | Universiteiten: een spel in Europees beleid 174

18. **Industriepolitiek: Clusters** 176
Industriepolitiek 176 | Is het Science Park toekomstbestendig? 178 | Coda 180

DEEL VII VERDUURZAMING IN DE INDUSTRIE 181

Routekaarten 184

19. **Universele dragers: Elektriciteit en waterstof** 188
Veelzijdig waterstof – H₂ 189 | De magie van elektriciteit 191 | Elektrische clusters 192 | Elektrische installaties 193 | Proefprojecten 194 | Netbeheerder Tennet 195

20. **Bouwstenen *revisited*: Vergassing en pyrolyse** 197
Vergassing: de reactor 197 | Vergassing van biomassa 200 | Lange adem 201 | De schaduwkant van biomassa 202 | Vergassing en

pyrolyse van kunststoffen 204 | Kunststoffen als grootste gemene deler 205 | Coda 207

- 21. Het geheim van de smid: Uithoudingsvermogen** 208
Avantium en de katalyse 209 | Biomassa: de schone verleidster 212

DEEL VIII PROEVEN VAN TRANSITIE 213

Een janusgezicht 216 | Proeven van grondstoffentransitie 217

- 22. Proeven van transitie: Clusters aan zee** 220

Rotterdam-delta 220 | Grondstoffentransitie in de Rotterdam-delta 221 | Biokerosine 222 | Plant One 223 | Zeeland en Vlaanderen 224 | Biovernieuwbare chemicaliën 225 | Meer van hetzelfde? 226 | Noordzeekanaal/IJmuiden en Amsterdam 226 | Bottom-up modellering van de broeikasgas-uitstoot 228 | Eemsdelta 228 | Groter dan groot: een elektrolyser van 1 GW 230 | Waterstof *en route* 231

- 23. Proeven van transitie: Een cluster ingeklemd** 233

Kenniscentrum Brightsite 234 | GroenvermogenNL 236 | Chemelot en de Nieuwe Chemie 237 | Cracker of the Future 239 | Plastic afval en huishoudelijk restafval 241 | Nieuwe kunststof-economie? 241 | Sitech 243 | Opschaling is niet gratis 243

DEEL IX OBSTAKELS EN SCHIJNBEWEGINGEN 245

Bronnen van weerstand 247 | Technologie 249 | Van laboratorium naar fabriek 250

- 24. Fossiel in de herhaling** 252

Barendrecht – Rotterdam 254 | CCS: een vermomde lock-in 256 | Internationale netwerken 259 | CCS: wolf in schaapskleren? 260

- 25. Geofragmentatie** 262

Staat naar markt en vice versa 264

- 26. Fluïde percentages** 266

Tweehonderd kikkers en consensus 266 | Innovatie als toverstaf 268 | Routekaart zonder kompas 269 | De massage van klimaatdoelstellingen 270 | Groei of klimaat? 272

Reflectie: Groeiverslaving?	276
Ecomodernisme 279 Degrowth 281 Wederopbouw versie 2.0 283	
Conclusie: De grondstoffentransitie ontketend?	287
De last van het verleden 289 Het vertrouwde zichtbaar maken 289	
Noten	292
Lijst van afkortingen	334
Bibliografie	340
Verklarende begrippenlijst	346
Dankwoord	357

Ketens ontward: Inleiding

Verantwoording

De aanleiding voor het schrijven van *Ketens van fossiele grondstoffen: Procestechnologie en de transitie naar duurzaamheid* was de vijftigste verjaardag van het Rapport van de Club van Rome. Gepubliceerd in 1972 werd dit rapport in de wandelgangen bekend als *De grenzen aan de groei*.¹ Voor velen was het rapport een waarschuwing dat de mensheid op te grote voet leefde en dat overbevolking, voedseltekorten en vervuiling een rem zouden gaan zijn op ons welzijn en onze welvaart. Vijftig jaar na het verschijnen is de wereldbevolking verdubbeld, de winning van grondstoffen verdrievoudigd en het bruto binnenlands product (bbp) verviervoudigd.² Diegenen die het door de Club van Rome afgeroepen onheil ridiculiseerden lijken hun gelijk te hebben gehaald. Aardolie is niet uitgeput geraakt. Het omgekeerde is het geval: schalie-olie en schaliegas hebben de Verenigde Staten in de eerste decennia van de 21ste eeuw tot een van grootste producenten van fossiele brand- en grondstoffen gemaakt nadat het land tijdens de laatste decennia van de 20ste eeuw daarin achterop was geraakt. Dat de gebruikte frackingtechniek tot enorme milieuvervuiling leidt door onder meer gevaarlijke en persisterende Pfas – poly- en perfluoralkylstoffen ook wel *forever chemicals* genoemd – wordt voor het gemak buiten beschouwing gelaten.³

Sinds de verschrikkingen en de destructie van de Tweede Wereldoorlog maakten de Westerse landen tot 1972 al een enorme economische vlucht die in de decennia erna stug werd voortgezet. De basis voor de economische groei was fossiele grondstoffen die zowel de *feedstock* waren voor verbrandingsmotoren (benzine, diesel en kerosine) als de basis voor synthetische producten uit de chemische industrie. Die nam het met de verantwoordelijkheid voor het milieu niet altijd even nauw hetgeen leidde tot verontreiniging van lucht, water en bodem. Vertegenwoordigers uit de chemische industrie erkenden de milieuproblemen maar gaven tegelijk aan dat hun technologie in staat zou zijn om die 'bijeffecten' te voorkómen. Inderdaad slaagde men erin om het – in de voedselketens accumulerende – DDT te vervangen door milieuvriendelijker pesticiden, de zure regen terug te dringen door de uitstoot aan SO₂ te beperken en om schadelijke fluorchloorkoolwaterstoffen te vervangen en zo het daardoor veroorzaakte ozongat weer te laten sluiten. De basis voor de maatregelen die de milieuproblemen aanpakten kwamen inderdaad vaak uit de technologie. Vanuit de chemische technologie wist men met katalysatoren schadelijke processen minder vervuilend te maken. Algemeen bekend is de toepassing van de driewegkatalysator in auto's die tot een veel betere luchtkwaliteit in de binnensteden heeft geleid door vermindering van uitstoot van stikstofoxiden. En omdat (tetra-ethyl)lood in benzine als 'antiklop' de driewegkatalysator vergiftigt

werden er alternatieve middelen aan brandstof toegevoegd waardoor lood uit de uitlaatgassen kon verdwijnen.

De fabelachtige groei van de economie in de westerse wereld werd gelegitimeerd door de stelling dat de ontwikkelingslanden hun welvaart en het welzijn van hun bewoners zouden verhogen door aan te sluiten bij die op 'fossiel' gebaseerde productieprocessen uit de ontwikkelde wereld. Gemeend werd dat mondiale economische groei juist een noodzakelijke voorwaarde is om de ontwikkelingslanden op hoger niveau te brengen. Deze landen konden fossiele delfstoffen, mineralen, zeldzame metalen alsmede biomassa winnen en die verkopen.

Een probleem is vaak dat de handel in handen is van multinationale ondernemingen die niet alleen de delfstoffen exporteren maar ook de winst. Zo ontstaat een keten van grondstoffen uit het ontwikkelingsland naar eindproducten die in het moederland van multinationals worden vervaardigd en waar de grootste toegevoegde waarde van het product wordt geïncorporeerd. Wanneer dat hoogwaardige product vervolgens wordt geëxporteerd naar ontwikkelingslanden ontstaat een economische onbalans die tegenwoordig Ecologisch Ongelijke Uitwisseling (*Ecological Unequal Exchange* of EUE) wordt genoemd.⁴ Dit is een voorbeeld van de globalisering van de handel die sinds de jaren tachtig van de 20ste eeuw het mantra van de wereldeconomie is geworden. Daarmee is het tegendeel van 'de grenzen aan de groei' uitgekomen: schijnbaar ongelimiteerde economische groei en een planeet aarde die compleet vervuild raakt.⁵

Deze globalisering had zeker ook voordelige kanten. Op natiestaten gebaseerde internationale organisaties en niet-statelijke multinationals maakten afspraken over de handel in goederen en diensten. Zo kwamen verdragsafspraken als de General Agreement on Tariffs and Trade (GATT) en de wereldhandelsorganisatie WTO tot stand en kon de mondiale handel gereguleerd worden. Door digitalisering van communicatieplatforms raakte ook het financiële stelsel geglobaliseerd. Het Internationaal Monetair Fonds (IMF) reguleert geldstromen en weet investeringen te stimuleren. Maar het kent ook een schadelijke kant, daar waar de macht van hedgefondsen en het zogeheten fliitskapitaal, markten niet-transparant kan beïnvloeden.⁶ Neveneffecten van buitenlandse investeringen in ontwikkelingslanden zijn onder meer commercialisering, industrialisering, het verdwijnen van de boerenstand en het ontstaan van grote gemeenschappen van armen die goedkoop werk moeten accepteren. De verdeling tussen arm en rijk wordt geografisch ook aangeduid als de tegenstelling tussen de Global North en de Global South.⁷

Het boek van de Canadese publicist Naomi Klein uit 2014 – *This changes everything: Capitalism vs. the Climate* – vestigde de aandacht op de strijd van inheemse volkeren die het meest te lijden hebben onder de winning van fossiele brandstoffen en de milieuschade die daarmee gepaard gaat. Klein ziet beperking, aanpassing en compensatie van klimaatverandering als een strijd tussen uiteenlopende

opvattingen over de natuur en de economie: ‘... elke poging om de klimaatuitdaging aan te gaan [zal] vruchteloos zijn, tenzij deze wordt begrepen als onderdeel van een veel bredere strijd van wereldbeelden.’⁸

Broeikasgassen

Aan het eind van de 20ste eeuw werd men zich bewust van het feit dat de ongelimiteerde verbranding van ‘fossiel’ tot een milieuprobleem aan het leiden was dat in *De grenzen aan de groei* nog niet echt was onderkend. Dit probleem was de stijging van het gehalte aan kooldioxide of CO₂ in de atmosfeer. Sommige wetenschappers meenden dat dit zou leiden tot opwarming van de aardatmosfeer.⁹ Een uitgesproken stem in de discussie was die van James E. Hansen die in de jaren tachtig van de 20ste eeuw bij de National Aeronautics and Space Administration (NASA) werkte. In 1988 sprak hij het Amerikaanse congres toe en stelde dat het voor 99 procent zeker was dat de waargenomen opwarmingstrend van de aarde géén natuurlijke variatie was, maar wordt veroorzaakt door een opeenhoping van koolstofdioxide en andere gassen in de atmosfeer.¹⁰ Naast CO₂ hebben ook een aantal overige gassen een zogeheten broeikas effect: methaan, lachgas en gefluoreerde gassen doen dat eveneens. Dat opwarming van de atmosfeer leidt tot klimaatverandering was Hansens onvermijdelijke conclusie.

Wanneer klimaatopwarming een ecologische ramp dreigt te worden moeten de verbranding van fossiele brandstoffen en het verbruik van fossiele grondstoffen beperkt worden. Gedurende enkele decennia hebben ‘klimaatceptische’ wetenschappers – niet zelden gesponsord door de multinationale oliemaatschappijen – wetenschappelijke waarnemingen en conclusies in twijfel getrokken. Historici en journalisten hebben inmiddels aangetoond dat de oliemaatschappijen al sinds de jaren 1980 kennis hadden van klimaatopwarming als gevolg van het vrijkomen van kooldioxide en methaan. Recent zijn historische bewijzen gepresenteerd die deze kennis en dit gedrag in het geval van ExxonMobil aantonen.¹¹

Onzekerheid rond klimaatopwarming heeft een zekere logica omdat – over duizenden eeuwen heen gerekend – de natuur van zichzelf ook klimaatfluctuaties kent. In dit boek zal ik er echter van uitgaan dat klimaatopwarming door stijgende CO₂-concentraties onomstotelijk vaststaat. Deze aanname is ook verwoord in het zogeheten Akkoord van Parijs uit 2015 waarin een kleine tweehonderd landen beloven: ten eerste de uitstoot van kooldioxide terug te dringen (in beleidstermen CO₂-mitigatie geheten); ten tweede maatregelen te nemen om te anticiperen op effecten van klimaatverandering (adaptatie); en ten derde landen en bevolkingsgroepen die het snelst en het meest door klimaatverstoringen worden getroffen, te helpen.¹²

Klimaatwetenschappers hebben de accumulatie van kooldioxide in de atmosfeer kwantitatief weten te koppelen aan de waargenomen opwarming van de aarde. De referentiewaarde voor kooldioxide die wordt gehanteerd is 285 CO₂-deeltjes per miljoen luchtdeeltjes (ppm). Dat is de waarde uit de pre-industriële tijd – de periode 1850-1900. In 2022 is het gehalte vastgesteld op inmiddels circa 420 ppm. Volgens het Akkoord van Parijs moet de stijging van de aardtemperatuur op maximaal 1,5 °C worden gehouden. Dat zal niet meevallen met een materiële economie die in meer dan twee eeuwen tijd (van 1750 tot 1990) 785 Gt CO₂ heeft uitgestoten en in iets meer dan drie decennia, van 1990 tot 2021, nog meer dan voornoemde hoeveelheid, namelijk 948 Gt CO₂.¹³ Het klimaatrapport van het KNMI uit 2023 vermeldt een stijging van de temperatuur in Nederland van 2 °C en wereldwijd 1,2 °C sinds het pre-industriële tijdperk.¹⁴

Na de geruchtmakende waarschuwing gedaan door Hansen in 1988, werd op de G7-top in Toronto de IPCC, het Intergovernmental Panel on Climate Change, opgericht. Een paar jaar later, in 1992 op de Earth Summit in Rio de Janeiro, gevolgd door de installatie van de United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Vijf jaar later, in 1997, werd het Kyoto Protocol aangenomen waarin werd gesteld dat de wereld terug zou moeten naar de atmosferische CO₂-waarden van 1990. Sindsdien wordt er regelmatig vergaderd onder het banier van de Conference of the Parties to the convention (COP).

Vanwege de onzekerheidsmarges binnen de klimaatwetenschap worden data gepresenteerd in bandbreedtes. De consensus is nu dat willen we met een waarschijnlijkheid van 67% uitkomen op maximaal 1,5 °C opwarming, we in 2035 de mondiale CO₂-uitstoot teruggebracht moeten hebben tot nul. Dat betekent dat tegen die tijd verbranding van fossiele brandstoffen moet zijn uitgebannen, alle ontbossing moet zijn gestopt en andere broeikasgasemissies snel en sterk moeten zijn verminderd.¹⁵ Dat het probleem van klimaatopwarming serieus wordt genomen blijkt wel uit de voorgenoemde maatregelen die individuele landen en landenfederaties zoals de Europese Unie voorstellen. Zelfs een werkelijk uitfaseren van fossiele brand- en grondstoffen uit de economie in 2050 of zelfs 2070 zal nog geen gelopen race zijn. Het zal pijn gaan doen. 'Fossiel' is wel het fundament geweest van driekwart eeuw groei van welvaart en welzijn.¹⁶

Uitfaseren van 'fossiel' wordt samengevat met het paraplubegrip 'transitie'. In feite gaat het om uiteenlopende typen transities, namelijk de energietransitie en de grondstoffentransitie, ook wel aangeduid als materialentransitie. De term energietransitie is genoegzaam bekend in de vorm van de overschakeling op duurzame energiebronnen zoals energie van zonnepanelen en windmolens. Vaak wordt waterstof in een adem genoemd met duurzame energie maar het is belangrijk op voorhand op te merken dat dit gas een energiedrager is en geen energiebron.

Grondstoffen als bijrijder van energie?

De *grondstoffent*transitie – het eigenlijke onderwerp van dit boek – is pluriformer dan die van energie. Veel van onze materialen zijn afgeleid van fossiele grondstoffen zoals olie en in mindere mate aardgas. Dat zien we met name terug in kunststoffen (plastics). In zekere zin zijn kunststoffen het prototype van de materialententitie naar een circulaire economie, dit vooral omdat de recycling van plastics al een gangbaar proces in onze wegwerpmoatschappij is geworden. De grondstoffententitie is echter breder dan de toepassing van duurzame grondstoffen. Het omvat zowel recycling (hergebruik), de inzet van biogruudstoffen en (her)gebruik van kooldioxide. Als einddoel staat een economie voor ogen waarbij ‘fossiel’ niet meer de reguliere bouwsteen is.

De energie- en grondstoffententities zijn nauw gelieerd. Voor bijna alle processen die we binnen een circulaire economie kunnen bedenken zal veel duurzame energie nodig zijn – denk aan het afbreken van de polymeren waar kunststoffen van gemaakt zijn tot nieuwe (*virgin*) moleculaire bouwstenen. Niet vreemd dus dat in een rapport van de Sociaal Economische Raad de nadruk wordt gelegd op het sámengeaan van de energie- en grondstoffententities: ‘De grondstoffententitie en de energietentitie zijn gelijkwaardig en moeten integraal worden bekeken. Gelijkwaardig, omdat de grondstoffententitie even ingrijpend gaat zijn als de energietentitie. De sturing op de grondstoffententitie blijft echter achter bij de omvang van de opgave en de gestelde ambities (namelijk Nederland circulair in 2050).’¹⁷

Inderdaad is de grondstoffententitie in feite het ondergeschoven kindje in het (inter)nationale beleid. Daar waar er wel veel aandacht voor grondstoffen is betreft dat de behoeftes aan mineralen en zeldzame metalen die nodig zijn om elektriciteit de hoofdrol te laten spelen bij de energietentitie. Het meest bekend zijn de tekorten die zullen ontstaan aan zeldzame metalen zoals nikkel, kobalt en lithium voor elektrificatie, waar China de belangrijkste leverancier van die metalen is.¹⁸ Toch maken we voor dit boek een afbakening: we beperken ons, voor zover dat mogelijk is, tot de transitie van *fossiele* grondstoffen. We erkennen dat de tentities naar duurzame energie enerzijds en duurzame (niet-fossiele) grondstoffen anderzijds niet volledig gescheiden kunnen worden maar er is een belangrijke reden waarom de fossiele grondstoffententitie bijzondere aandacht behoeft. Daarvoor is namelijk geheel nieuwe technologie nodig; er is dus sprake van de noodzaak tot een *systeemtentitie*. De vraag is vervolgens: hoe komen we daar?

De op fossiel gebaseerde welvaart heeft geleid tot de opkomst van de chemische technologie of iets algemener uitgedrukt de procestentologie. De these van *Ketens van fossiele grondstoffen* is dat de transitie naar duurzaamheid zal verlopen via de reeds bekende principes van de procestentologie. Gezien de massaliteit van de hedendaagse materialenproductie is er namelijk geen andere keuze. Maar deze

duurzame technologie voor de systeemtransitie moet nog ontwikkeld worden via research en development (R&D). Alleen stapsgewijs kunnen we naar productie op fabrieksschaal en geredeneerd vanuit historische ervaring zal dat verlopen via Proeffabrieken en DemonstratieProjecten (PDP's). Dit zijn zeer kostbare ontwikkelingsstappen en de vraag is natuurlijk: wie dat gaat betalen? Ondernemers vrezen dat wanneer de omslag te snel wordt afgedwongen dit zal leiden tot een ondergang van de basisindustrie in Nederland.¹⁹

In het verleden ontwikkelde het bedrijfsleven nieuwe, innovatieve producten en processen. Momenteel zijn in het kader van klimaatmaatregelen de (inter) nationale overheden bereid veel geld uit te trekken voor duurzame innovaties. Andere participanten zijn, ten eerste, de (technische) universiteiten en, ten tweede, de multinationale oliemaatschappijen. Maar de getuigschriften van die laatste worden wat de duurzaamheidstransities betreft niet meer erg hoog aangeslagen. Met het verwijderen van fossiele brand- en grondstoffen uit de economische ketens komt het verdienmodel van Shell, ExxonMobil, BP, Chevron en TotalEnergies op de helling te staan. Waar genoemde oliemaatschappijen in de jaarverslagen over 2022 hun grootste jaarwinsten ooit laten zien, geven ze in dezelfde jaarverslagen aan dat zij hun investeringen in duurzame energie (en grondstoffen) afschalen omdat de rendementen op dat terrein te laag zouden zijn.²⁰ Vanuit het financiële belang van de aandeelhouder is dit misschien nog wel begrijpelijk maar er spreekt geen verantwoordelijkheid uit voor wat betreft klimaatverandering. Dit alles betekent dat de oliemaatschappijen moeten worden gedwongen hun prioriteiten anders te leggen willen we op een netto-nul CO₂ in 2050 uitkomen. Een plattegrond of roadmap voor de duurzaamheidstransities is niet alleen handig maar vooral ook noodzakelijk.

Afscheid van een verdienmodel

Voor die dwang tot verduurzaming staat uiteraard een veelheid aan opties open. In de eerste plaats door druk uit te oefenen op aandeelhouders zoals de laatste jaren al gebeurt bij de pensioenfondsen; die laatste voelen zich moreel gedwongen zich terug te trekken uit 'fossiel'. Daarnaast oefenen overheden – hetzij Nederland hetzij de Europese Unie – dwang uit om duurzame portfolio's op te bouwen. En ten derde kan de consument bewust kiezen voor duurzame alternatieven (zoals een elektrische auto). Daarvoor moet dan meestal meer worden betaald dan voor het product op basis van 'fossiel' omdat in het laatstgenoemde al vele decennia van optimalisering en kostenefficiëntie zijn verwerkt.²¹

In *Ketens van fossiele grondstoffen: Procestechologie en de transitie naar duurzaamheid* kiezen we voor een vierde optie: consumenten, bedrijfsleven en

politici laten zien waar het bij duurzame transitie om gaat. De methode die wordt gehanteerd is de historische analyse die begint bij de drie typen 'fossiel': steenkool, olie en aardgas. Elk van deze fossiele brand- en grondstoffen heeft in Nederland multinationale bedrijfstakken gekend die die materialen hebben opgewerkt en omgezet in waardevolle producten, met name autobrandstoffen, oliën, kunststoffen, rubbers, bouwmaterialen, et cetera.

In de loop van de afgelopen kwart eeuw heeft ondergetekende studies gemaakt van de corporate laboratoria van Nederlandse multinationals, i.c. Staatsmijnen / DSM, Shell en Unilever.²² Deze historische studies vonden plaats tegen de achtergrond van de bedrijfsactiviteiten van die multinationals. Er werd een studie gemaakt van de wijze waarop laboratoriumresultaten zijn vertaald naar fabrieksmatige processen. Binnen de procestechnologie wordt deze vertaling 'opschalen' genoemd, een proces dat talloze valkuilen kent. Er is bijvoorbeeld het technologische probleem om het innovatieve proces als een continuproces vorm te geven. In het laboratorium wordt immers vaak eerst begonnen met de reactie in één reactor: de zogeheten batchreactie. Wil een innovatief proces binnen de chemische industrie economisch rendabel zijn dan is het noodzaak het proces continu te maken. Dat wordt uitgetoet in een proeffabriek, ook wel een *pilot plant* geheten. Zo'n pilot plant kan een schaalmodel zijn van wat de commerciële fabriek zou moeten worden of, omgekeerd, het is meer een demonstratiemodel waaruit later de uiteindelijke fabriek wordt afgeleid. In dit boek bespreek ik meerdere voorbeelden van innovatieve processen en producten waarbij we op zoek gaan naar de kenmerken van proeffabrieken en demonstratieprojecten (PDP's) uit het verleden. Willen we transitie naar een duurzame economie tot stand brengen dan moeten we over alternatieve technologieën beschikken die nu nog niet bestaan. Ze moeten dus worden ontwikkeld langs de moeizame weg van procesinnovaties.

Uit de historische voorbeelden van Shell, DSM en Unilever spreekt ook duidelijk dat een innovatie meer is dan alleen het ontwikkelen van technologie. Voor elk nieuw product moet ook geanalyseerd worden wat de marktverwachtingen zijn en die inschatting is, zeker voor vaktechnologen, notoir bijzonder problematisch. Het nieuwe product moet zich in een gevestigde markt invecchten en de respons van de potentiële gebruiker is ongewis. De bestaande markt heeft het voordeel dat die (meestal) al decennia lang gestaag kon uitbreiden. De enorme omvang van de chemische industrie is bijvoorbeeld overduidelijk wanneer we zien hoeveel kunststof er per jaar in Nederland wordt geproduceerd. Een rapport uit 2021 spreekt over een productie aan kunststoffen van 5300 kiloton waarvan 1900 kiloton voor de eigen Nederlandse markt bestemd is.²³ Het geringe startvolume van een innovatie die op fossiel gebaseerd materiaal zou moeten vervangen maakt per definitie het product duur of zelfs té duur. Vandaar ook dat duurzame producten het op de markt vaak niet redden zonder overheidssubsidies.

De Europese Unie heeft in het document *fit-for-55* harde doelstellingen geformuleerd voor het reduceren van de CO₂-uitstoot per het jaar 2030: 55% procent verlaging, een streefcijfer dat inmiddels is opgehoogd tot 60%.²⁴ Maar de streefcijfers blijken helaas rekkelijk. Het krimpen van de economie als gevolg van de coronapandemie hielp om de uitstoot van kooldioxide te reduceren, maar het uitbreken van de oorlog in Oekraïne gooide de boekhouding door elkaar. Bij een overeenkomstige energie-opbrengst heeft aardgas heeft een lagere CO₂-footprint dan steenkool. Maar door de EU-sancties op Russisch aardgas schakelden in Nederland elektriciteitscentrales over van gas op steenkool hetgeen resulteerde in een grotere CO₂-voetafdruk. En mondiaal bekeken hielp het ook niet dat China tal van steenkoolcentrales ging bouwen omdat ze nauwelijks toegang hebben tot aardgas. Het vloeibaar gemaakt aardgas dát China bezat verkochten ze aan Europa omdat er hoge prijzen voor werden betaald. Voor China was vasthouden aan steenkool daarmee financieel uiterst aantrekkelijk en een garantie voor energiezekerheid.²⁵ Waarmee is gezegd dat CO₂-mitigatie mondiale inspanningen vereist en het behalen van doelstellingen afhangt van de zwakste schakel.

Met de aardgasputten in Groningen afgesloten, hebben de drie noordelijke provincies, de noordelijke gemeenten en twintig bedrijven waaronder energiebedrijven Shell en RWE, een investeringsplan op tafel liggen van minstens 9 miljard euro voor een te ontwikkelen waterstofeconomie in Noord-Nederland. Met die financiering kunnen er voor 6.500 megawatt aan elektrolyzers komen. Dat kan echter alleen met heel veel windparken op zee om de benodigde groene stroom op te wekken. Vanzelfsprekend staat dit op gespannen voet met het natuurbelang.²⁶

De Nederlandse regering ziet, gesouffleerd door de industrie, waterstof als een panacee voor zowel de transitie als een compensatie voor de werkgelegenheid die is weggefallen door het stoppen van de aardgaswinning. De elektrolysetechnologie is een bekende techniek maar niet op de schaal die voor de vervanging van 'fossiel' nodig is. Bijvoorbeeld, er staat een waterstoffabriek in Friesland met een omvang van slechts 1,4 megawatt. De fabrieken die waterstof moeten gaan produceren om een nieuwe waterstofgerelateerde bedrijfstak in in het Noorden op poten te zetten zullen honderden keren omvangrijker zijn.

De regering wil in 2030 in Nederland kunnen beschikken over 8.000 megawatt aan waterstof, een verdubbeling van de plannen van enkele jaren geleden. De Europese Unie subsidieert Noord-Nederland al sinds 2010 met het project Hydrogen Valley waarin bedrijven, kennisinstituten en overheden samenwerken aan een waterstofeconomie. Meer recent werd vanuit een EU-fonds voor het loskomen van 'fossiel' in de regio meer dan driehonderd miljoen euro toegekend voor drie jaar.²⁷ Bovendien, loskomen van 'fossiel' via zogeheten disruptieve technologie gaat bijna altijd gepaard met *wishful thinking* ten aanzien van werkgelegenheid. Maar bij een systeemtransitie is weinig op voorhand zeker.

Samenwerking

Duurzame transities zijn dus enorm kostbaar en het is duidelijk dat deze alleen gerealiseerd kunnen worden met geld uit de diepe zakken van overheidssteun. De investeringen in de energie- en grondstoffentransities zijn zo immens dat publiek-private samenwerking (PPS) onvermijdelijk is. Maar daar zit een kanttekening aan vast. In de parlementaire enquête over de aardgaswinning in Groningen wordt omstandig uitgelegd hoe de PPS van overheid (aanvankelijk Staatsmijnen, later DSM) en de oliemaatschappijen Shell en Esso c.q. ExxonMobil tot stand kwam om de aardgaswinning zo rendabel mogelijk te maken. Het resultaat was het gasgebouw dat meer dan een halve eeuw functioneerde. De parlementaire enquêtecommissie oordeelde in haar eindrapport dat het een cruciale tekortkoming was dat ‘de Groningers’ geheel buiten deze samenwerking werden gehouden: ‘Bij toekomstige publiekprivate samenwerkingen is het belangrijk dat deze fout niet nogmaals wordt gemaakt. Borg daarom alle betrokken publieke belangen bij de start van een samenwerking; expliciteer ze en leg ze vast in de samenwerkingsafspraken.’²⁸ Dit is een wijze les voor de grondstoffentransitie.

Over samenwerking gesproken: er is juist een tendens waarneembaar die tegenovergesteld is aan PPS. In *Ketens van fossiele grondstoffen* zullen we zien dat de fossiele economie in de tweede helft van de 20ste eeuw tot stand kwam door samenwerking tussen met name Shell, DSM en de (technische) universiteiten.²⁹ Vandaag hebben multinationals zoals Shell, DSM, Philips, Unilever en ASML nog steeds banden met die universiteiten. Deze relaties zijn over het algemeen geformaliseerd in bijzondere leerstoelen. Maar klimaatactivisten ageren nu tegen de banden tussen alles wat enerzijds naar ‘fossiel’ ruikt, zoals oliemaatschappijen, en anderzijds de universiteiten. Daar zullen we in dit boek nader op ingaan.³⁰ Het ontwikkelen van disruptieve klimaattechnologie zal echter móeten verlopen via PPS-constructies omdat alleen private bedrijven de stappen van laboratorium naar fabriek kunnen maken. En dát kunnen ze, ten eerste, niet zonder de (technische) universiteiten en, ten tweede, niet zonder overheidssubsidies.

Ketens

De thema’s die we in dit boek tegenkomen betreffen een drietal typen van ketens rond fossiele grondstoffen. De eerste keten betreft de waardeketens van de producten uit de chemische industrie. Die ketens lopen van grondstoffen uit het buitenland tot binnenlandse afzetmarkten en export naar het buitenland. Ze omvatten soms meerdere tientallen tot honderden schakels van bedrijven, tussenpersonen en handelspartners. Deze zijn gewoonlijk nauwelijks zichtbaar behalve als de

markten verstoord raken. Bij de nieuwe Europese wetgeving van *due diligence* (gepaste zorgvuldigheid) waaraan Europese bedrijven moeten gaan voldoen, moet geëxpliciteerd worden wie er allemaal bij zijn betrokken. Dan blijkt de mondiale aard van de (chemische) waardeketens.³¹

Een tweede type keten is het materiële netwerk dat bestaat tussen een chemisch proces en tal van andere processen en producten die ermee verbonden zijn. Een bijproduct uit het eerste proces kan een uitgangsmateriaal voor een tweede proces zijn. Deze afhankelijkheid tussen diverse waardeketens is natuurlijk erg zichtbaar geworden tijdens de coronapandemie: toen bleek dat velerlei maakprocessen stil kwamen te liggen doordat de grenzen in China als gevolg van lockdowns dicht gingen en er bepaalde stoffen en onderdelen niet meer voorradig waren. De wal keerde het schip van de globalisering en geofragmentering is nu de economische realiteit.

Een derde vorm van geketend zijn is hierboven al aan de orde gekomen: onze economie is geketend aan fossiele brand- en grondstoffen. Dat is maar al te duidelijk geworden met het uitbreken van de oorlog – de ‘militaire operatie’ – in Oekraïne.

Met het stoppen van de winning uit de Groningse gasvelden en het sanctioneren van Russisch aardgas is het fundament onder Nederland als gasrotonde voor noordwest-Europa weggevalen. Stijgende energieprijzen in Europa leiden er wellicht toe dat de basisindustrie zijn heil zoekt buiten Europa omdat energie daar goedkoper is. Metaalsmelterijen (zink, aluminium) draaiden de gaskraan van hun ovens dicht en kunstmestfabrieken schaalden hun productie af. De aantrekkingskracht van Amerikaanse subsidies voor duurzame, binnenlandse productie zal ongetwijfeld gevoeld worden, wellicht al op korte termijn.³² Om oneerlijke concurrentie te voorkómen zal er een op CO₂ gebaseerde heffing op importen moeten komen.

De intentie van dit boek is dus om: (i) de materiële waardeketens die de basis vormen van de huidige fossiele economie te belichten; (ii) te illustreren welke rol wetenschap en technologie – en met name de procestechnologie – speelden bij het ontstaan van die netwerken; (iii) te analyseren hoe wij geketend zijn geraakt aan ‘fossiel’; (iv) te analyseren hoe het terugbrengen van broeikasgassen is te verwezenlijken binnen het kader van een gewenste duurzame economie; en (v) de transitie daarnaartoe vanuit het bestaande. Dit alles in het kader van de rol van de procestechnologie daarbij. De reden om dit boek te schrijven is omdat we aannemen dat de historische contexten omvat in (i), (ii) en (iii), van groot belang zijn om de transitie naar duurzaamheid te begrijpen en, niet ten laatste, de randvoorwaarden en mogelijkheden te zien. Deze transitie zal moeten plaatsvinden op basis van technologie, economie en ecologie. Het preciese pad valt moeilijk te voorspellen maar het helpt de burger en de politicus als we weten wat er speelt.

De op ‘fossiel’ gebaseerde technologie heeft allerlei relaties gecreëerd waarbij onevenwichtigheden zijn ontstaan. Economisch gezien is er een onbalans ontstaan doordat marktprijzen van bijvoorbeeld fossiele delfstoffen en zeldzame metalen niet

de schade aan de natuur verdisconteren. Marktprijzen komen op de wereldmarkt tot stand en relateren slechts in beperkte mate aan de inspanning die is verricht voor de winning en het delven.³³ Tegen een achtergrond van deze onbalans lijkt het heel moeilijk om tot consensus te komen rond een rechtvaardige verdeling van mondiale CO₂-budgetten. Om tot duurzame oplossingen te komen concludeer ik dat we inzicht moeten verkrijgen in hoe het verleden is verlopen en hoe de ketens van de netwerken onderling verknoot zijn geraakt.³⁴

Opzet van het boek

De thema's van dit historisch ingestoken boek worden behandeld in negen delen alsmede een reflecterend hoofdstuk over groeiverslaving en een conclusie. Daarin worden in de delen I-III achtereenvolgens behandeld: fossiele grondstoffen; de chemische industrie; de ontwikkeling van het gebruik van fossiele grondstoffen en de welvaart die daaruit voortkwam. In de delen IV en V gaat het over de keerzijde van de chemische industrie en met name de vervuiling van lucht, water en bodem; respectievelijk het operationaliseren van milieueffecten in termen van LevensCyclus Analyses (LCA), circulariteit en duurzaamheid. Deel VI omschrijft de opkomst van de wereldhandel met een aantal randverschijnselen die gezamenlijk globalisering worden genoemd. Deel VII gaat over de acceptatie en uitwerking van verduurzaming binnen de chemische industrie met achtereenvolgens elektriciteit, waterstof, vergassing, pyrolyse en katalyse. Deel VIII omvat 'Proeven van transitie' waarin een selectie aan proeffabrieken en demonstratieprojecten van de huidige grondstoffentransitie wordt belicht. Wat duidelijk wordt is dat veel van de initiatieven tot transitie gebaseerd zullen worden op de procestechologie die in de afgelopen eeuw op basis van 'fossiel' is ontwikkeld. Deel IX handelt over de obstakels en de weerstand tegen de energie- en grondstoffentransities. In de reflectie tot slot adresseren we het verslavende karakter van het thema 'groei van de economie' dat al een eeuw het Westen beheerst. Tevens bespreken we bewegingen die zich tegen de adorering van die groei verzetten. Ontgroei – beter bekend onder de Engelse term *degrowth* – stelt dat de aarde economisch moet afkoelen maar vooral meer in verbinding moet komen te staan met de natuur. Er zou sprake moeten zijn van wederkerigheid tussen mens en natuur. In dat kader ontstaat tevens de gedachte dat de natuur als rechtspersoon gezien zou moeten worden.³⁵ In de 'Conclusie' vatten we samen in hoeverre het verleden de basis vormt voor de toekomst en in hoeverre we ons van het 'fossiele' grondstoffenverleden kunnen losmaken. Wanneer de transitie naar duurzaamheid via de procestechnologie zal verlopen, zijn we dan ontketend of nog steeds geketend?

De these die we uit het fossiele verleden reconstrueren is dat onze welvaart is gebaseerd op het verbranden en verbruiken van fossiele grondstoffen waardoor

de natuur veel te lijden heeft en de maatschappij wordt gekenmerkt door onrechtvaardigheden. De Global North heeft aan klimaatopwarming het merendeel bijgedragen terwijl de Global South de gevolgen van klimaatopwarming het meest zal gaan voelen. Rond klimaatverandering begint rechtvaardigheid op wereldschaal steeds meer op te spelen.

Er worden al goede stappen gezet op het terrein van de energietransitie terwijl ingeslagen paden bij de grondstoffentransitie doodlopen of opgebroken blijken te zijn. Welke technologie gaat duurzame oplossingen bieden? Hoe gaan we die technologie opschalen naar volumes aan materialen die we (op wereldschaal) nodig hebben? En hoe gaan we anticiperen op het disruptieve karakter van alternatieve, duurzame technologie? Dit in termen van werkgelegenheid, concurrentie en het economisch verdienmodel. Het is van belang dat publiek en politiek zicht krijgen op de mogelijkheden en de beperkingen.

Alternatieve technologie zal markten gaan verstoren. Het ontwikkelen van laboratoriumvindingen, het opschalen van (chemische) processen en het bouwen van fabrieken zal hoge kosten en planologische eisen met zich meebrengen. In een druk bebouwd land als Nederland zal het niet meevallen om ruimte te vinden en de omgeving niet te veel te belasten om van 'het stikstofprobleem' maar niet te spreken. Het *not-in-my-backyard* syndroom (NIMBY) rond de plaatsing van windmolens en zonneparken ligt op de loer. Voor de technologie van fossiele processen is in de loop van de 20ste eeuw stapsgewijs betaald. Nu moeten we in ruwweg een kwart eeuw een duurzame technologie inrichten zonder dat daar kooldioxide bij vrijkomt (*net-zero*) en die resulteert in een circulaire economie. Overheden zijn geneigd de transities te reguleren via beprijzing van kooldioxide en het stellen van uitstootlimieten. Maar het is belangrijk te begrijpen wat zich daarachter schuilhoudt: het industrieel erfgoed van een eeuw procestechnologie.³⁶

Historische les?

Het is een gevleugelde uitspraak van Albert Einstein dat een probleem dat door een technologie is geschapen niet met diezelfde technologie kan worden opgelost: 'Het denken dat nodig was om ons in deze puinhoop te doen geraken', aldus de Nobelprijswinnaar, 'is niet hetzelfde denken dat ons er uit gaat halen.'³⁷ Als we de uitspraak letterlijk zouden nemen dan sluit Einsteins stelling het vinden van duurzaamheidstechnologie vanuit op 'fossiel' ontwikkelde procestechnologie, uit. Hopelijk is zijn stelling bij de duurzaamheidstransitie ongeldig.