



Oraties

Naar een bio-based economy:
tussen panacee en pandemonium

Martin Junginger

De ontdekking van de toekomst

Gert Jan Kramer



**Naar een bio-based economy:
tussen panacee en pandemonium**

3

Martin Junginger, hoogleraar Bio-Based Economy

De ontdekking van de toekomst

23

Gert Jan Kramer, hoogleraar Duurzame Energievoorziening

Inaugurele rede in verkorte vorm uitgesproken bij de aanvaarding van het ambt van hoogleraar aan de faculteit Geowetenschappen van de Universiteit Utrecht, op 8 september 2017.

COLOFON

ISBN

978-90-6266-485-6

Uitgave

Universiteit Utrecht, 2017

Fotografie

Ed van Rijswijk

Tekstredactie

Bram Vermeer en Yulia Knol

Omslagillustratie

Bas Köhler, www.baskohler.nl.

Illustraties oratie Gert Jan Kramer

Bas Köhler tegen de achtergrond van J.M.W. Turner, *The Sun Rising over Water*, ca. 1825-1830 (Tate Gallery)

Grafische verzorging

C&M (9248) – Faculteit Geowetenschappen – Universiteit Utrecht

**Naar een bio-based economy:
tussen panacee en pandemonium**

Martin Junginger, hoogleraar Bio-Based Economy

Mijnheer de Rector Magnificus, zeer gewaardeerde toehoorders,

Inleiding

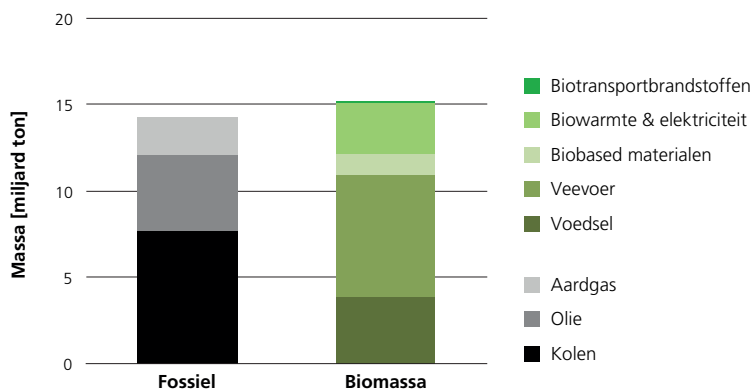
Tot aan het begin van de industriële revolutie werd de mensheid voor haar energie- en voedselbehoefte vrijwel volledig voorzien door biomassa – een bio-based economy.¹ Maar in de 200 jaar daarna zijn we overgegaan naar een maatschappij die voor haar energievraag – en ook voor de productie van voedsel en materialen – grotendeels afhankelijk is geworden van fossiele brandstoffen. Ons gebruik van kolen, olie en aardgas speelt een cruciale rol bij de opwarming van ons klimaat. Bij het verbranden ervan komt momenteel ieder jaar ruim 30 miljard ton CO₂ vrij², de voornaamste oorzaak dat onze aarde al ruim 1 graad warmer is ten opzichte van 150 jaar geleden. Klimaatverandering is zo een van de grootste uitdagingen waarmee de mensheid de komende decennia geconfronteerd zal worden.

Gelukkig gebruiken wij de laatste jaren mondiaal steeds meer hernieuwbare bronnen zoals wind en zon om te voorzien in onze elektriciteitsbehoefte. Maar voor een aantal activiteiten die veel energie vergen is elektriciteit geen geschikt alternatief voor fossiele brandstoffen – denk aan vliegverkeer of het wereldwijd verschepen van containers. Ook de productie van diverse plastics en andere materialen is zonder een bron van koolstof vrijwel onmogelijk.

Er is echter een hernieuwbare bron van koolstof die op grote schaal beschikbaar is: biomassa. Planten leggen CO₂ vast met behulp van zonlicht, bijvoorbeeld in bossen en gewassen zoals suikerriet, mais of de oliepalm. Bij gebruik van deze biomassa als voedsel of voor energieopwekking komt de CO₂ weer vrij, en is de kringloop gesloten. In principe kan koolstof uit biomassa vrijwel alle functies vervullen die fossiele energiedragers momenteel hebben. Biomassa kan gebruikt worden voor onder andere de productie van transportbrandstoffen voor de luchtvaart, de scheepvaart en voor zwaar wegtransport, en – binnenkort ook in Utrecht – voor het opwekken van warmte voor stadsverwarming. Ook kan biomassa veelzijdig ingezet worden bij de productie van materialen, bijvoorbeeld voor het maken van ijzer uit ijzererts, of voor bioplastics om de bekende petflessen te vervangen. Daarmee is biomassa een van de belangrijke opties die we hebben om van een fossiele economie over te gaan naar een hernieuwbare en CO₂-arme economie.

¹ De Rijksoverheid definieert de bio-based economy als ‘een economie waar biomassa de grondstof is voor de productie van energie, kunststof en brandstof’. Bron: Rijksoverheid.nl (2017). In mijn oratie zie ik echter ook de productie van voedsel en veevoer als onderdeel van de bio-based economy.

² In 2010 was dit al 32 miljard ton (IPCC, 2015).



Figuur 1a. Mondiaal gebruik van fossiele energiedragers³ en biomassa⁴ op massabasis.

De veelzijdige mogelijkheden van biomassa en de mogelijkheid om fossiele CO₂-emissies te reduceren zijn mede de reden dat de Nederlandse overheid³ en de Europese Commissie⁴ zich tot doel hebben gesteld om deze bio-based economy verder te ontwikkelen.⁵ Daarmee lijkt de inzet van biomassa een panacee om van onze fossiele economie naar een ‘bio-based economy’ te gaan en om van onze verslaving aan fossiele energiedragers af te kicken. Maar – helaas – zo makkelijk is het niet.

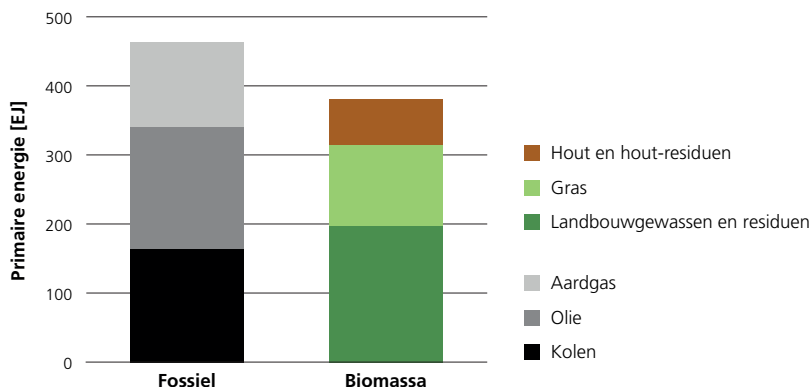
Een vergelijking: de bio-based versus de fossiele economie

Om de dingen in perspectief te plaatsen wil ik in de komende vijf minuten kort schetsen in welke mate de wereld momenteel gebruik maakt van fossiele energiedragers, en hoe ‘bio-based’ onze huidige maatschappij is. Figuur 1a laat bij benadering zien hoeveel miljard ton fossiele energiedragers en biomassa de mensheid elk jaar gebruikt. Wat opvalt: op

³ Zie bij voorbeeld MinEz (2015).

⁴ Zie EC (2017) voor een overzicht van beleidsdocumenten.

⁵ Een andere reden is dat EU-landen minder afhankelijk willen worden van de import van olie uit het Midden-Oosten of van aardgas uit Rusland. Op Nederland is dit aspect maar beperkt van toepassing, omdat we ook voor onze biomassa-vraag grotendeels afhankelijk zijn van import. We hebben voor de levering echter keus uit een groter aantal landen, waartoe de huidige exporteurs van fossiele brandstoffen niet behoren.



Figuur 1b. Mondiaal gebruik van fossiele energiedragers en biomassa op energiebasis.

massabasis gebruikt de mensheid iets minder fossiele brandstoffen dan biomassa, namelijk jaarlijks circa 14 miljard ton fossiele brandstoffen tegenover 15 miljard ton biomassa. Op basis van deze wat vereenvoudigde analyse⁶ zou men kunnen stellen dat onze maatschappij nog steeds voor iets meer dan de helft bio-based is.

Echter, de energie-inhoud van aardgas of aardolie is per kilogram hoger dan van hout of gras. Figuur 1b laat zien dat wij op energiebasis meer fossiele brandstoffen gebruiken (ongeveer 465 EJ⁷) dan biomassa (ongeveer 380 EJ⁸). Kolen en aardgas worden voor bijna 100 procent ook daadwerkelijk voor energie gebruikt, en ook van elke ton aardolie gaat wereldwijd circa 55 procent naar transportbrandstoffen voor het wegverkeer, vliegverkeer en scheepvaart⁹. In geïndustrialiseerde landen ligt dit percentage zelfs rond de 75–85 procent¹⁰.

Bij het gebruik van biomassa ligt dat anders: 11 miljard van de 15 miljard ton biomassa gebruikt de mens voor voedselproductie. Daarvan is ongeveer 7 miljard ton

6 De mensheid gebruikt ook diverse andere soorten grondstoffen, bijvoorbeeld ijzererts en bauxiet, en ook diverse andere energiebronnen, zoals kernenergie, waterkracht, wind en zon. Deze zaken zijn uiteraard ook onderdeel van onze economie, maar worden hier niet verder besproken.

7 Bron: IEA (2016).

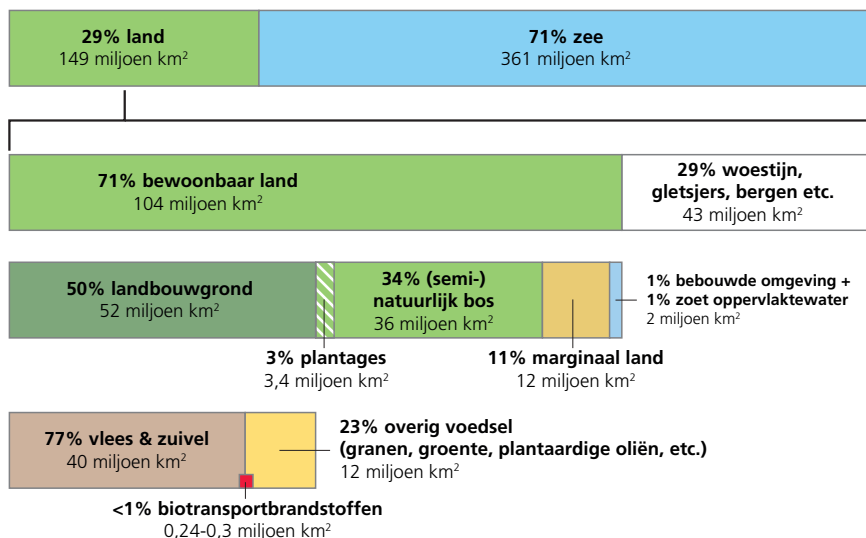
8 Bron: Van der Born et al. (2015).

9 Statista (2017).

10 In de EU wordt slechts 15 procent gebruikt voor niet-energetische doelen zoals de productie van kunststoffen en andere materialen (Eurostat, 2017). In de VS ligt dit percentage bij 25 procent (EIA, 2017).

diervoer (vooral gras, mais en soja) voor de productie van nog geen half miljard ton vlees en zuivel. Daarnaast gebruiken we ‘slechts’ een kleine 4 miljard ton voor de productie van onder andere granen, fruit en groente voor directe consumptie. 3 miljard ton gebruikt de mensheid voor energie, waarvan het leeuwendeel het gebruik is van hout in ontwikkelingslanden om te koken en te verwarmen. Slechts een klein deel wordt ingezet voor moderne toepassingen zoals bio-ethanol voor onze auto’s of voor de productie van elektriciteit ter vervanging van kolen.

Figuur 2 laat zien dat de consumptie van biomassa voor voedsel, energie en materialen is gekoppeld aan landgebruik. In dit figuur onderscheid ik drie hoofdcategorieën: landbouwgrond (circa 50 miljoen vierkante kilometer), bos (circa 40 miljoen) en overig land, zoals woestijnen, gletsjers, marginaal land, de bebouwde omgeving etc., in totaal een kleine 60 miljoen vierkante kilometer. Als we naar landbouwgrond kijken, dan zien we dat



Figuur 2. Mondiaal landgebruik voor de bio-based economy.¹¹

¹¹ Bron: Data: FAO (2015a), FAO (2015b) en WWF (2016). Visualisatie: gebaseerd op Hamelinck (2016) en Roser & Ritchie (2017).

dit een maar één derde van ons totale aardoppervlak is. Dit is dus een schaars goed, want al te veel ruimte om dit gebied verder duurzaam uit te breiden is er niet.

Veel van het hout dat we gebruiken voor materialen, warmte en elektriciteit halen we uit natuurlijke en semi-natuurlijke bossen, maar in toenemende mate ook uit plantages, al is dit nog steeds maar circa 8% van al het bosoppervlak. In de meeste ontwikkelde landen komt dit grotendeels uit duurzaam beheerde bossen, maar in ontwikkelingslanden wordt de vraag naar brandhout vaak door niet-duurzaam gebruik van bos gedekt, wat vaak ontbossing met zich meebrengt.

Het huidige landgebruik voor de teelt van gewassen voor biobrandstoffen is relatief klein: zo'n 0,24 à 0,3 miljoen vierkante kilometer¹² – dat is nog niet 1 procent van het totale landbouwareaal. Dat staat in schril contrast met de circa 77 procent van de totale landbouwgrond die we momenteel gebruiken voor de productie van vlees en zuivel. Deze 40 miljoen vierkante kilometer gebruiken we om slechts 17 procent van de calorische waarde van ons voedsel te produceren.¹³ De resterende 11 miljoen vierkante kilometer zijn voldoende om met plantaardige producten 83 procent van onze voedselbehoefte te leveren. De wereldwijd stijgende vraag naar vlees- en zuivelproducten is een van de grootste drijfveren van uitbreiding van het landbouwareaal, onder andere in Zuid-Amerika. Dit gaat gepaard met grote broeikasgasemissies, verlies van biodiversiteit en andere milieu-impacts.

Er is dus veel te winnen als we onze eetpatronen veranderen, en ons landbouwgrond efficiënter gebruiken. Maar ook dan zal de impact van biobrandstoffen beperkt blijven. Stel dat we in staat zouden om tot 2050 10% van onze huidige landbouwgrond vrij te spelen – zo'n 5 miljoen vierkante kilometer, een gigantische opgave, gezien de groeiende wereldbevolking. Dan zou dat wel voldoende zijn, om de scheepvaart en luchtvaart met biobrandstoffen te verduurzamen, maar voor veel andere sectoren hebben we dan nog steeds alternatieven nodig.

Uit dit beknopte overzicht worden twee dingen duidelijk: ten eerste leven we in een wereld met begrensde hoeveelheden biomassa en land; ten tweede is het vervangen van al onze fossiele energiedragers door biomassa vrijwel onmogelijk. Gebruik van biomassa alleen zal dan ook nooit een panacee zijn waarmee we al onze problemen betreffende klimaatverandering en fossiel energiegebruik kunnen oplossen. We zullen dus altijd ook andere opties moeten ontwikkelen, zoals andere vormen van duurzame energie,

12 Schatting op basis van Valin et al. (2015), Hamelinck (2016) en Rulli et al. (2015). Rulli et al. (2015) berekenen een gebruik van 0,413 miljoen vierkante kilometer in 2013, maar verwaarlozen volledig de additionele productie van proteïne van onder andere soja en koolzaad die als veevoer gebruikt wordt.

13 Ter volledigheid: vlees en zuivel leveren wel circa een derde van de mondiale eiwitconsumptie (WWF, 2016). Deze eiwitten kunnen echter ook door vegetarische en grotendeels plantaardige producten geleverd worden.

energiebesparing, aanpassing van ons consumptiepatroon en zelfs nieuwe bronnen van hernieuwbare koolstof – collega Kramer zal na mij onder andere de mogelijke rol van ‘solar fuels’ nader toelichten. Maar tegelijkertijd is er zeker ruimte om bestaande biomassa beter in te zetten en extra biomassa duurzaam te produceren, en zo in toenemende mate van een fossiele naar een bio-based economy te gaan.

In de resterende twintig minuten wil ik graag twee punten verder uitwerken die voor dit proces cruciaal zullen zijn, en die ook een belangrijk onderdeel zijn van het onderzoek dat ik de komende jaren aan de Universiteit Utrecht wil gaan vormgeven.

Ten eerste is er **maar een beperkte hoeveelheid extra biomassa die bovenop de huidige consumptie elk jaar geproduceerd en gebruikt kan worden voor energie en materialen** – denk aan residuen uit de land- en bosbouw, biomassateelt op marginaal land, maar ook biomassagewassen geteeld op landbouwgrond, voor zover beschikbaar. **Waarborging van de duurzame productie is daarbij een cruciale randvoorwaarde.**

Ten tweede is niet vooraf duidelijk waarvoor we biomassa het beste in kunnen zetten. Biomassa is een essentieel onderdeel van de circulaire economie voor de productie van bio-based goederen, maar kan ook ingezet worden voor de productie van transport-brandstoffen, elektriciteit of warmte. We zullen dus slim moeten nadenken over **de toepassingen waarvoor we biomassa willen gebruiken** en wat **optimaal gebruik van biomassa** is.

Duurzame productie van biomassa

Laat ik met de **duurzaamheid van biomassa-productie** beginnen: gebruik van biogeen afval, residuen uit de land- en bosbouw en biomassa geteeld op marginaal land verdienen de voorkeur, en er is op dit vlak – vooral buiten Nederland – nog veel te winnen. In een recent EU-project hebben we aangetoond dat er in landen zoals Brazilië en Oekraïne nog significante hoeveelheden residuen uit de landbouw beschikbaar zijn. Grote volumes van deze reststromen – denk aan toppen en blad van suikerriet en tarwestro – kunnen worden ingezet zonder dat daarbij de vruchtbaarheid van de bodem of het lokale gebruik van deze biomassa in het geding komen. Door ons onderzoek weten we dat er wereldwijd miljoenen hectaren land zijn, die door onder andere slecht management, denk aan verzilting door verkeerde irrigatie, niet of nauwelijks meer voor voedselproductie te gebruiken zijn. Een gedeelte van dit land heeft wel potentie om biomassa voor de bio-based economy te produceren – zij het met relatief hoge kosten. Al met al zouden we door beter gebruik van afval en residuen en marginale gronden tot 2050 tussen de 100

en 150 EJ¹⁴ aan biomassa kunnen gebruiken voor energie en materialen – dat is twee à drie keer de totale hoeveelheid die we op dit moment voor bio-energie gebruiken (dus inclusief alle hout dat voor brandstof wordt gebruikt). Maar indien we een substantieel deel van ons huidige gebruik van fossiele energie door biomassa willen vervangen, zal ook landbouwgrond nodig zijn. Nieuwe landbouwgrond is lastig op een duurzame manier te ontginnen. Bij de conversie van bos en veel andere types land komt veel CO₂ vrij, wat de klimaatwinst van bio-energie en bio-based materialen in ieder geval tijdelijk teniet doet. Gebruik van extra landbouwgrond heeft vaak ook significante negatieve effecten op de bodem, water en biodiversiteit. Beter, efficiënter en duurzamer gebruik van bestaande landbouwgrond zal een belangrijke strategie moeten zijn om extra biomassa voor de bio-based economy te produceren.

De duurzame productie van biomassa is dus een cruciale voorwaarde als we de bio-based economy verder willen ontwikkelen. Dit punt wordt door wetenschappers, milieuorganisaties, beleidsmakers en ook de industrie al langer onderkend – binnen het Copernicus Instituut zijn we al zo'n twintig jaar bezig met het opstellen van criteria voor de duurzame productie van energie uit biomassa, en veel van deze kennis is inmiddels ook beleid geworden. Zo geldt voor transportbrandstoffen binnen de EU de eis dat deze niet in gebieden geproduceerd mogen worden met een hoge biodiversiteit of bodems met een hoog koolstofgehalte zoals moerassen en veengronden. Verder moeten ze minimaal een klimaatwinst van 50 tot 60 procent ten opzichte van benzine en diesel opleveren. Voor vaste biomassa voor elektriciteit gaan deze criteria in Nederland nog veel verder.¹⁵ Zo moet het hout FSC¹⁶- of equivalent gecertificeerd zijn. Er moet een klimaatwinst van minimaal 70 procent behaald worden. Er moet gewaarborgd worden dat het bos zo beheerd wordt dat koolstofvoorraden behouden of vergroot worden. De kwaliteit van de bodem en de biodiversiteit moeten in stand worden gehouden en waar mogelijk verbeterd. En zo zijn er in totaal twaalf strenge eisen. Ik durf wel te beweren dat dit voor productie van hout zo'n beetje de strengste duurzaamheidseisen ter wereld zijn.

Ik zie echter momenteel twee problemen bij deze aanpak: ten eerste zijn deze eisen dermate streng dat het moeilijk kan worden om voldoende hout te vinden dat aan al deze criteria voldoet. Zo halen we op dit moment veel hout ter vervanging van kolen uit naaldboomplantages uit het zuidoosten van de VS. Echter, deze plantages zijn niet of nauwelijks FSC-gecertificeerd omdat de lokale papierindustrie daar weinig waarde aan hecht. Dit kan natuurlijk veranderen, maar dat kost veel tijd. Bovendien is bio-energie

¹⁴ Deze range is indicatief, en hangt sterk af van de gekozen scenario's en randvoorwaardes. Zie bijvoorbeeld Dornburg et al. (2010), Slade et al. (2014) en Daioglou et al. (2016)

¹⁵ Bron: RVO (2016).

¹⁶ Forest Stewardship Council – zie www.fsc.org voor meer informatie.

uiteindelijk ook niet de voornaamste afzetmarkt voor dit hout. Daarom zal de motivatie voor landeigenaren om hun bos te certificeren beperkt blijven.

Ten tweede – en dit is wellicht belangrijker: als we blijven meten met verschillende maatstaven voor aan de ene kant energie en aan de andere kant overige toepassingen, dan kunnen we uiteindelijk al het duurzame hout naar Nederland en de EU halen, maar zal het niet-duurzaam geproduceerde hout lokaal in de VS gebruikt worden. Hetzelfde geldt voor duurzame biobrandstoffen: dan wordt duurzaam geproduceerde palm- of sojaolie voor biodieselproductie gebruikt, en worden oliepalm- en sojaplantages op vers gekapt oerwoud geplaatst voor onze vraag naar Magnums, shampoos en vlees- en zuivelproducten. Dezelfde argumentatie gaat ook op voor andere gewassen, bijvoorbeeld mais of suikerriet. Als we willen sturen op de duurzame productie van biomassa op landbouwgrond, dan heeft het weinig nut om enkel criteria op te leggen aan de productie van nog geen 1 procent van ons mondiale landbouwareaal, en de overige 99 procent te verwaarlozen.

Daarom kan meten met twee maten eigenlijk niet langer. Indien we biomassa breed willen inzetten voor een bio-based economy, dan is duurzaam landgebruik een universele voorwaarde – onafhankelijk van het eindgebruik. Ik wil dan ook pleiten voor het streven naar uniforme duurzaamheidscriteria voor het gebruik van land voor de productie van biomassa – ook voor de productie van voedsel¹⁷. Het moge duidelijk zijn dat dit een controversieel onderwerp is, en dat de regio's in de wereld waar honger en ondervoeding nog steeds belangrijke problemen vormen geen gebieden zijn waar op korte termijn additionele teelt van biomassa voor de bio-based economy kan plaatsvinden. Echter, zoals eerder aangegeven, gebruikt de westerse wereld – en in toenemende mate gebeurt dat ook daarbuiten – een buitensporige hoeveelheid landbouwgrond om vlees en zuivel te produceren, vaak op een zeer inefficiënte manier. We zullen in de toekomst ook onaangename en impopulaire onderwerpen op de agenda moeten zetten – bijvoorbeeld hoe de consumptiepatronen van diverse regio's tot onduurzaam landgebruik leiden, en wat we daaraan kunnen doen. Uiteindelijk is landbouwgrond een schaars goed, en ik denk dat er een discussie gevoerd zal moeten worden hoe we dit land mondiaal moeten gebruiken. Op dit moment wordt de dagelijkse consumptie van een zeer milieubelastend luxeproduct als rundvlees nog steeds als een vanzelfsprekend grondrecht beschouwd – terwijl de productie van biomassa om bijvoorbeeld kolen te vervangen aan een groot aantal duurzaamheidseisen moet voldoen. Dat is in mijn ogen schreef. Als we echt willen inzetten op de ontwikkeling van een bio-based economy, dan wordt het naar mijn mening tijd om deze criteria te laten gelden voor alle toepassingen.

¹⁷ Hiermee ga ik verder dan de huidige kabinetsvisie (MinEZ, 2015), die zich tot identieke duurzaamheidscriteria voor energie en materialen beperkt.

Een brede(re) maatschappelijke discussie over hoe we het beschikbare land – zowel binnen als buiten Europa – optimaal kunnen gebruiken om aan de vraag voor voedsel, materialen én energie te voldoen, moet dan gevoerd worden op basis van objectieve en betrouwbare wetenschappelijke informatie. Onder andere over hoe land optimaal gebruikt kan worden, maar ook over de impacts op bijvoorbeeld biodiversiteit, klimaat en water en ook op de economische groei en welvaart. Binnen het Copernicus Instituut werken we al vele jaren aan dit soort vraagstukken over duurzaam integraal landgebruik, waaronder ook de duurzame productie van biomassa valt. Zo kijken we in diverse landen binnen de EU, maar ook in Brazilië, Mozambique, de VS en Indonesië, hoe en waar gewassen voor rietsuiker, soja, palmolie en hout het beste kunnen worden aangeplant, en wat hiervan de economische, ecologische en sociale impacts kunnen zijn, en uiteindelijk hoeveel extra biomassa de komende decennia geproduceerd zou kunnen worden. Daarnaast analyseren we of en hoe we biomassa geproduceerd in andere werelddelen efficiënt naar Nederland kunnen krijgen en hier gebruiken, aangezien wij in Nederland zelf niet voldoende landbouwgrond hebben voor de vraag van meer dan 17 miljoen inwoners.¹⁸

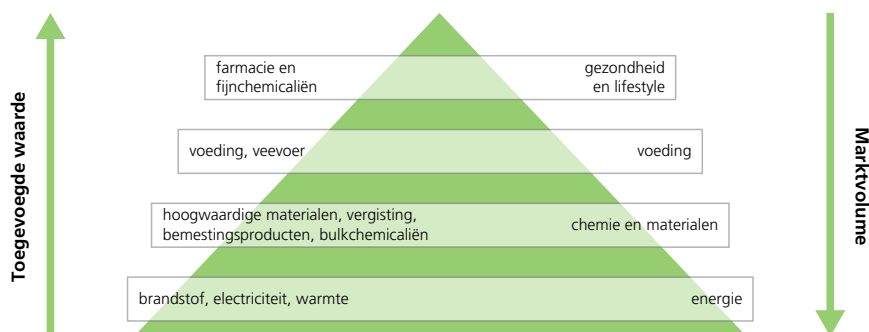
Optimale inzet van biomassa in de bio-based economy

Naast de duurzame productie van biomassa is een **tweede fundamentele vraag waarvoor we biomassa het beste kunnen gebruiken**. De optimale inzet van biomassa in de bio-based economy is niet op voorhand duidelijk, en is ook sterk afhankelijk van *wat* men precies wil optimaliseren of maximaliseren: denk aan maximale economische waarde, minimale milieu-impact of maximale klimaatwinst.

In de meeste literatuur over de bio-based economy staat daarbij de (economische) waardepiramide centraal (figuur 3).

Producten met een hoge economische waarde, zoals cosmetica en voedselsupplementen, staan boven aan, gebruik van biomassa voor energie onder aan de piramide. In onze huidige economie, waar de fossiele brandstoffen nog steeds veelvuldig gesubsidieerd worden en de externe kosten van het gebruik van fossiele brandstoffen niet door de vervuiler betaald worden, is het logisch dat de maximalisatie van economische waarde een belangrijke rol speelt. Deze piramide negeert echter de sociale en milieuaspecten van een bio-based economy, en – om naar een van de beginpunten van dit betoog terug te gaan – doet ook geen uitspraak over welke inzet kwalitatief en kwantitatief het meeste klimaatwinst oplevert. Zo kan bijvoorbeeld de inzet van biomassa

¹⁸ Voor een gedetailleerd overzicht van de vraag in Nederland naar landbouwproducten en het gebruik van landbouwgrond, zie PBL (2014).

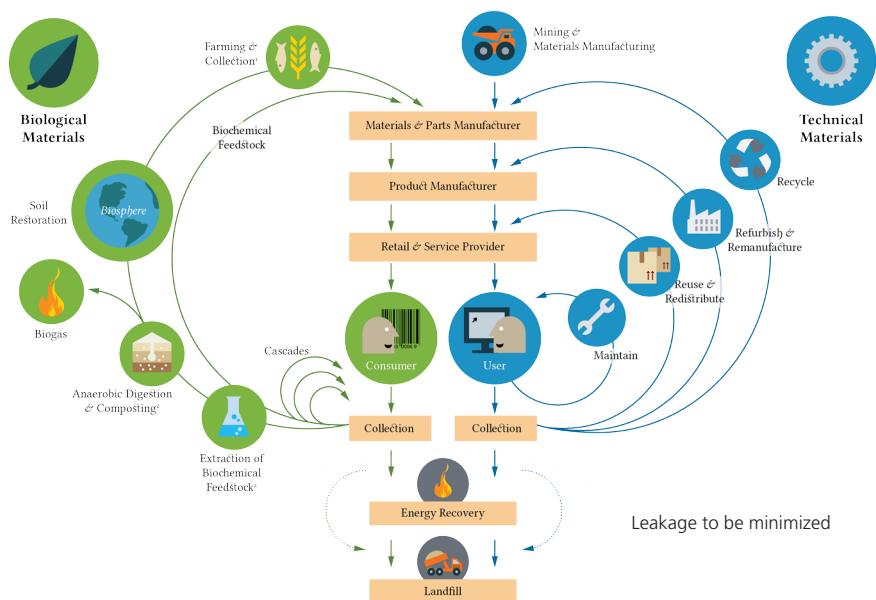


Figuur 3. De economische waardepiramide van de bio-based economy.

voor bioplastics in plaats van fossiele plastics in sommige gevallen minder klimaatwinst opleveren dan als we dezelfde hoeveelheid biomassa zouden gebruiken voor het vervangen van stookolie.

Zoals ook in de piramide is aangegeven, is de markt voor het vervangen van energietoepassingen veel groter dan die van materiaaltoepassingen, en zijn dus ook de absolute hoeveelheden broeikasgassen die vermeden kunnen worden groter. Gezien deze beperkingen kan de economische waardepiramide hooguit als een deel van een optimalisatie van de inzet van biomassa gezien worden. Het is noodzakelijk om geavanceerdere modellen en concepten te ontwikkelen. Waar de waardepiramide de afgelopen jaren de dominante leidraad was voor beleidsmakers, begint er ook steeds meer inzicht in het belang van andere aspecten te komen. Zo werken wij op dit moment in opdracht van de Europese Commissie aan levenscyclusanalyses van tien bio-based producten om de netto klimaat- en milieuwinst te bepalen ten opzichte van hun fossiele tegenhangers. Met de uitkomsten kan toekomstig beleid voor de stimulering van deze producten worden ondersteund.

Een ander, gerelateerd concept is de circulaire economie (figuur 4). Ik zal (gezien de tijd en de bekendheid van dit concept) ervan afzien om dit uitvoerig toe te lichten, maar de circulaire economie – zoals uit de naam al blijkt – gaat over het streven naar het sluiten en kleiner maken van materiaalkringlopen. De linkerhelft van figuur 4 laat zien dat de bio-based economy integraal onderdeel is van de circulaire economie – de hele linkervleugel van de ‘vlinder’ is bio-based. Tegelijkertijd richt dit concept zich vooral op het gebruik van consumentengoederen en materialen, en het recycleren van fossiele en biogene koolstof.



Figuur 4. De circulaire economie.¹⁹

Ik zie twee mogelijke tekortkomingen van dit concept. Ten eerste is het gebaseerd op het principe dat fossiele grondstoffen eindig zijn en daarom zo efficiënt mogelijk ingezet moeten worden. Tegen de achterliggende concepten als cascadering en het efficiënt omgaan met grondstoffen is uiteraard weinig in te brengen. Toch gaat dit concept in zekere mate voorbij aan het feit dat biomassa hernieuwbaar is – zij het jaarlijks in beperkte hoeveelheden – en dus niet per se oneindig gerecycled hoeft te worden. Een te dogmatische nadruk op het moeten recycelen van koolstof zal niet automatisch de meeste milieuwinst opleveren.

Ten tweede heb ik eerder laten zien dat onze schaarse fossiele grondstoffen voor het allergrootste gedeelte ingezet worden voor energie, en dat slechts een zeer kleine fractie nodig is voor de productie van materialen. Als we fossiele energiedragers door biomassa willen vervangen, dan zullen we dus ook – en uiteindelijk voornamelijk – naar

¹⁹ Bron: gebaseerd op EMF (2017).

energietoepassingen moeten kijken. In het model van een circulaire economie wordt inzet van biomassa voor energie echter als ‘leakage’ beschouwd, iets dat zo veel mogelijk voorkomen en geminimaliseerd zou moeten worden volgens de Ellen MacArthur Foundation. Ik ben het daar niet geheel mee eens. Zoals ik al eerder schetste kunnen biobrandstoffen een belangrijke rol spelen bij zwaar wegtransport, scheepvaart en de luchtvaart. En juist de eerste twee sectoren zijn ook binnen de circulaire economie van belang. Het sluiten van kringlopen vergt namelijk vaak ook zogenaamde ‘reverse-logistics’, het terugbrengen van bijvoorbeeld defecte goederen van de consument naar de producent voor reparatie of refurbishment. In mijn ogen wordt dus de nadruk soms te veel op het materieel gebruik van biogeen koolstof gelegd, en ontbreekt juist de aandacht voor de energietoepassingen.

Dus ook het concept van een circulaire economie biedt zeker aanknopingspunten voor de optimalisatie van de inzet van biomassa, maar vanuit een klimaat- en energieperspectief is een holistische en complexere systembenadering noodzakelijk. Biomassa is veelzijdig, en kan voor elektriciteit, warmte, transport en materialen ingezet worden. Daarnaast kan er dus op diverse aspecten geoptimaliseerd worden, zoals economische waarde, klimaatwinst, milieu-impact, en landgebruik. Ten slotte zal ook het overige energie- en materiaalstelsel de komende decennia ingrijpend veranderen, en hebben we te maken met een continu veranderend referentiesysteem. Juist deze complexiteit zorgt ervoor dat we de komende jaren nog veel werk te verzetten hebben. Uiteindelijk willen we met behulp van modellen en scenario’s inzicht krijgen in waar we biomassa de komende decennia optimaal kunnen inzetten. Het is mijn verwachting dat we zullen moeten zoeken naar oplossingen die synergieën opleveren, bijvoorbeeld de gecombineerde productie van zowel materialen en energie. Ik wil hier slechts één voorbeeld noemen: AkzoNobel, Avantium, Chemport, Staatsbosbeheer en RWE werken samen aan het zogenaamde Zambezi-project, waarbij in Nederland in een grote bio-raffinaderij hout gescheiden zal worden in suikers en lignine. De suikers kunnen dan gebruikt worden voor bijvoorbeeld de productie van bio-based frisdrankflessen of biojetfuels voor de luchtvaart, terwijl de lignine de komende tien jaar kolen kan vervangen voor de productie van elektriciteit en warmte. Met de huidige duurzaamheidscriteria zouden we daarmee een duurzame, grootschalige aanvoer van houtige biomassa kunnen realiseren; een proces dat veel tijd en investeringen vergt. Op termijn, als we veel meer elektriciteitsproductie met lage broeikasgasemissie zullen hebben, zal de productie van elektriciteit uit biomassa naar verwachting een beperktere klimaatwinst opleveren. Tegen die tijd zouden we de lignine onder andere voor de productie van scheepvaartbrandstof of voor bio-based chemicaliën kunnen gebruiken. Samen met de onderzoeksinstituten ECN, TNO en het PBL en de genoemde industriële partners zullen we daarbij analyseren waar

bijvoorbeeld de biomassa vandaan gehaald kan worden, en welke inzet van de producten van de bioraffinaderij de meeste klimaatwinst kan opleveren.

Ten slotte

Het moge dus duidelijk zijn dat het additionele gebruik van biomassa en het omschakelen van een fossiele naar een bio-based economy geen panacee is – het kent juist een groot aantal uitdagingen, waarvan ik er nu maar twee kort heb kunnen bespreken. Objectieve en gedegen wetenschappelijke analyses van strategieën zullen nodig blijven voor de optimale inzet van biomassa in onze veranderende wereld om een pandemonium aan ongefundeerde visies, bedrijfsstrategieën en beleidsmaatregelen te voorkomen. Zo'n pandemonium ligt op de loer, juist omdat er over deze omschakeling nog veel onzekerheid bestaat. Genoeg ruimte voor allerhande – en tegengestelde – toekomstbeelden en oplossingen. Alleen als we de uitdagingen goed in kaart brengen, en de feiten laten spreken, zien we hoe een bio-based economy ons verder kan helpen.

Ik zie het dan ook als twee van mijn kerntaken om betere informatie te ontwikkelen over de duurzame productie van biomassa en het optimale gebruik van biomassa en om die ter beschikking te stellen aan de beleidsmakers en overige stakeholders in onze maatschappij.

Tegelijkertijd bemerk ik tot op zekere hoogte een gebrek aan politieke ambitie en daadkracht binnen de EU, maar vooral ook in Nederland, om klimaatverandering tegen te gaan en de transitie naar een bio-based economy daadwerkelijk in gang te zetten:

- Zo hebben we een kleine twee jaar na de klimaatconferentie van Parijs nog steeds geen brede discussie over een koolstofbelasting of andere instrumenten om het gebruik van fossiele brandstoffen voor energie en materialen terug te brengen.
- Het aandeel duurzame energie groeit in Nederland al decennialang bedroevend langzaam. Waar andere Europese landen om ons heen forse stappen maken, staat Nederland twee-na-laatste in de EU. We zijn de afgelopen twintig jaar slechts in staat geweest om het aandeel duurzame energie van 1,5 naar circa 6 procent²⁰ te brengen; terwijl we naar minsten 80 procent in 2050 moeten streven.
- Ook is er nog geen noemenswaardig beleid om de grootschalige productie van bio-based materialen snel op gang te brengen. Bij een olieprijs van nog geen 50 dollar per vat zal – zonder steun voor biomassa of een belasting op fossiele bronnen – het

²⁰ CBS (2017). Biomassa is overigens met bijna 63 procent van het totaal verreweg de grootste bron van hernieuwbare energie in Nederland.

additioneel gebruik van biomassa voor onder andere grootschalige plasticproductie nauwelijks van de grond komen.

Als wetenschappers kunnen wij beleidsmakers en maatschappij elk jaar wel van tientallen adviezen en analyses voorzien – en dat zullen we ook blijven doen – maar dit mag niet leiden tot ‘paralysis by analysis’. De tijd die we hebben om iets aan klimaatverandering te doen wordt steeds schaarser, zoals ook collega Kramer na mij zal betogen. Ik hoop dan ook dat we met ons onderzoek concreet beleid kunnen ondersteunen om de bio-based economy de komende jaren verder te ontwikkelen.

Dankzegging

Als laatste onderdeel van mijn oratie wil ik graag een aantal mensen danken: ten eerste dank ik rector Bert van der Zwaan en decaan Piet Hoekstra voor het in mij gestelde vertrouwen.

Graag wil ik ook mijn academische mentoren noemen. Wim, mijn promotie bij jou is al weer even geleden, maar ik heb veel academische vaardigheden bij je opgedaan. Ik ben blij dat ik jou als hoogleraar mag opvolgen in de Energy & Resources-groep. André – één ding is zeker: zonder jou was ik vandaag niet hier geweest. Het begon allemaal achttien jaar geleden bij jou met een afstudeeronderzoek naar de beschikbaarheid van landbouw- en bosbouwresiduen in Thailand, en sindsdien ben ik fan van bio-based. Je enthousiasme voor de bio-based economy is legendarisch, en ik hoop dat ik deze gedrevenheid voor het vak ook aan toekomstige generaties studenten en aio’s door kan geven.

Birka, Floor, Li, Marc en Ric – de afgelopen jaren heb ik samen met jullie het onderzoek en onderwijs rond bio-based economy vormgegeven en uitgevoerd, en ik mag me gelukkig prijzen met een team als jullie. Het is heel fijn om met een groep te werken waarin men elkaar helpt en steunt! Ik wil jullie danken voor deze samenwerking en alle constructieve commentaar op een eerdere versie van deze oratie. Samen met jullie en alle overige bio-based onderzoekers van onze groep hoop ik de komende jaren de zojuist beschreven uitdagingen aan te gaan.

Gert Jan – we lopen nog niet eens zo heel lang samen rond in de vakgroep, maar ik denk dat we vanaf het begin een goede klik hadden. Het proces van het tegelijkertijd schrijven van onze oraties en het kunnen sparren met een ervaringsdeskundige was erg plezierig. Ik kijk erna uit om met jou, Ernst, Wilfried en Aisha het reilen en zeilen van onze groep de komende jaren verder in goede banen te leiden – en natuurlijk naar jouw verhaal nu na mij.

En natuurlijk – dank aan My-Phung, Michael, en mijn vader en moeder. My-Phung, dank voor al jou steun. In de afgelopen jaren is de verhouding werk-privé vaak te veel de werk-kant opgegaan; ik beloof je dat de komende jaren weer in balans te brengen. Hans, ik draag jouw toga met trots, en wellicht dat jij, Michael, deze toga ook nog eens zult dragen.

Ik dank u allen voor uw komst en aandacht!

Ik heb gezegd.

Referenties

- CBS (2017) Aandeel hernieuwbare energie 5,9 procent in 2016. Centraal Bureau voor de Statistiek, 30 mei 2017. Zie <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2017/22/aandeel-hernieuwbare-energie-5-9-procent-in-2016>
- Daiooglou, V., Stehfest, E., Wicke, B., Faaij, A., van Vuuren, D.P. (2016) Projections of the availability and cost of residues from agriculture and forestry. *GCB Bioenergy* 8 (2), pp. 456-470. DOI: 10.1111/gcbb.12285.
- Dornburg, V., van Vuuren, D. van de Ven, G., Langeveld, H., Meeusen, M., Banse, M., van Oorschoot, M., Ros, J., van den Born, G.J., Aiking, H., Londo, M., Mozaffarian, H., Verweij, P., Lysen, E., Faaij, A. (2010) Bioenergy revisited: Key factors in global potentials of bioenergy. *Energy Environ. Sci.*, 2010, 3, 258-267 DOI: 10.1039/B922422J
- EC (2017). Bio-based products. Overzicht van beleidsdocumenten van de Europese Commissie met betrekking tot de bio-based economy. Zie http://ec.europa.eu/growth/sectors/biotechnology/bio-based-products_en
- EIA (2017) Oil crude and petroleum products explained. US Energy Information Administration. Zie: https://www.eia.gov/energyexplained/index.cfm?page=oil_use
- EMF (2017) Ellen McArthur Foundation. Circular Economy System Diagram. Zie: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/interactive-diagram>
- Eurostat (2017). Oil and petroleum products – a statistical overview – Statistics Explained. Zie http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Oil_and_petroleum_products_-_a_statistical_overview#Use_of_petroleum_products
- FAO (2015a). FAOSTAT Agricultural Production Data. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. Zie: www.faostat3.fao.org/download/Q/QC/E
- FAO (2015b) Global Forest Resources Assessment 2015. How are the world's forests changing. Second edition. Zie: <http://www.fao.org/3/a-i4793e.pdf>
- Hamelinck, (2016) Carlo Hamelinck, Ecofys. Presentation at the municipality of Utrecht, Duurzaam week Utrecht, september 2016.
- IEA (2016) International Energy Agency. Key world energy statistics 2016. Zie: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2016.pdf>
- IPCC (2015) Intergovernmental panel on climate change. 5th assessment report, working group 3, summary for policy makers. Zie: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_summary-for-policymakers.pdf
- MinEZ (2015) Biomassa 2030. Strategische visie voor de inzet van biomassa op weg naar 2030. Ministerie van Economische Zaken, Directie Groene Groei & BioBased

- Economy Directoraat-Generaal Bedrijfsleven en Innovatie. Zie: <https://www.rijksoverheid.nl/binaries/...2030/biomassa-2030.pdf>
- PBL (2014) Planbureau voor de leefomgeving. Balans van de leefomgeving 2014. Zie: <http://themasites.pbl.nl/balansvandeleeftomgeving/jaargang-2014/voedsel-en-landbouw/landgebruik-en-biodiversiteitsverlies>
- Roser and Ritchie (2017) Max Roser and Hannah Ritchie, Land Use in Agriculture. Published online at OurWorldInData.org. Zie: <https://ourworldindata.org/land-use-in-agriculture/>
- Rulli, M.C., Bellomi, D., Cazzoli, A., De Carolis, G., D'Odorico, P. (2015) The water-land-food nexus of first generation biofuels. *Nature scientific reports*. 6:22521. DOI: 10.1038/srep22521
- RVO (2016) Duurzaamheidseisen vaste biomassa voor SDE+. Bijlage bij artikel I, onderdeel K, van de Regeling van de Minister van Economische Zaken van 24 februari 2016. Zie: <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2016/02/Duurzaamheidseisen%20vaste%20biomassa%20voor%20SDE%202016.pdf>
- Rijksoverheid.nl (2017). Biobased economy: biomassa als grondstof. <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/duurzame-economie/biobased-economy>.
- Slade, R., Bauen, A., Gross, R. (2014), Global bioenergy resources. *Nature Climate Change*, 4, 99 – 05, doi:10.1038/nclimate2097
- Statista (2017) Distribution of oil demand worldwide as of 2016 by sector. Zie: <https://www.statista.com/statistics/307194/top-oil-consuming-sectors-worldwide/>
- Valin, H., Peters, P., van den Berg, M., Frank, S., Havlik, P., Forsell, N., Hamelinck, C. (2015) The land use change impact of biofuels consumed in the EU. Quantification of area and greenhouse gas impacts. Published by ECOFYS Netherlands B.V., 27 augustus 2015, p. 241
- Van den Born, G.J., van Minnen, J.G., Olivier, J.G.J., Ros, J.P.M. (2014) Integrated analysis of global biomass flows in search of the sustainable potential for bioenergy production. November 2014. PBL publication number: 1509. Zie: <http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/pbl-2014-integrated-analysis-of-global-biomass-flows-in-search-of-the-sustainable-potential-for-bioenergy-production-1509.pdf>
- WWF (2016) Living Planet Report 2016. Risk and resilience in a new era. WWW International, Gland, Switzerland. Zie: http://awsassets.panda.org/downloads/lpr_2016_full_report_low_res.pdf/

Curriculum vitae

Martin Junginger (1976) studeerde scheikunde aan de Universiteit Utrecht, waar hij in 2000 afstudeerde op het onderwerp “Fuel supply strategies for large-scale bio-energy projects in developing countries”. In 2005 promoveerde hij aan de Universiteit Utrecht op het proefschrift *Learning in renewable energy technology development*. Ook in de jaren daarna werkte hij als post-doc, universitair docent en universitair hoofddocent binnen het Copernicus Instituut voor Duurzame Ontwikkeling. Per 1 maart 2016 is hij benoemd tot hoogleraar Bio-Based Economy aan de faculteit Geowetenschappen van de Universiteit Utrecht en geeft hij leiding aan de cluster Bio-Based Economy binnen de groep Energy & Resources met circa 20 onderzoekers. In het onderzoek van zijn groep staan de thema's productie, handel en conversie van biomassa naar elektriciteit, warmte, transportbrandstoffen en materialen centraal. De (borging van de) duurzaamheid van productie en gebruik, evenals de milieu-impacts, economische haalbaarheid en optimale inzet van biomassa binnen de bio-based economy zijn daarbij belangrijke aspecten. Sinds 2013 is hij leider van de internationale werkgroep IEA Bioenergy Task 40 “Sustainable Biomass Markets and International Trade to support the bio-based economy”. Naast ‘bio-based’ onderwerpen doet hij ook onderzoek naar de ontwikkeling van diverse energie technologieën en het kwantificeren van de daarmee gepaard gaande kostenreducties. Op onderwijsgebied coördineert hij de cursus ‘Bio-Based Economy’ binnen de Master Energy Science, doceert hij binnen verschillende andere Masterprogramma's en is hij nauw betrokken bij de ontwikkeling en uitvoering van de track Energy & Resources binnen de bachelor Global Sustainability Science.

De ontdekking van de toekomst

Gert Jan Kramer, hoogleraar Duurzame Energievoorziening

Mijnheer de Rector Magnificus, geachte aanwezigen,

Iedere generatie moet opnieuw de toekomst ontdekken. Laten we voor ‘onze toekomst’ het jaar 2050 in gedachten nemen. Het midden van de eeuw, drieëndertig jaar voor ons. De studenten die nu in de collegebanken zitten zijn dan vijftigers. Zij zullen leiderschapsposities bekleden in wat hopelijk een aantrekkelijke, leefbare wereld is. Een voorwaarde daarvoor is dat dit ook een duurzame wereld is – of in ieder geval een *duurzamere* wereld dan nu. In die drieëndertig jaar hebben zij en wij – de generatie voor hen, de vijftigers van vandaag zoals ik, en de veertigers zoals mijn collega Martin Junginger – de taak daar samen vorm aan te geven. Deze twee generaties staan voor de taak gezamenlijk een toekomst te ontdekken die duurzaam is. Ik zeg met nadruk ‘ontdekken’ en niet ‘maken’ omdat dit woord voor mij veel beter de reis naar het werkelijk onbekende weergeeft. Niemand weet hoe de wereld van 2050 eruit zal zien. Mooi, harmonisch en leefbaar? Verwoest, verarmd en verlaten? Goed of slecht? Eigenlijk weten we alleen dit zeker: de toekomst zal aspecten van beide hebben: goed en kwaad, mooi en lelijk, opkomst en ondergang; het zijn antitheses waarvan beide kanten deel zijn van de toekomst. Daarom zullen hoop en wanhoop elkaar ook blijven afwisselen, wat iedereen die zich in het energie- en klimaatvraagstuk heeft verdiept zal dit herkennen. Een krantenbericht kan je soms enthousiast en optimistisch maken, maar het volgende kan alle hoop weer laten vervliegen. In deze oratie, in dit gesproken essay, ga ik proberen een balans te vinden.¹

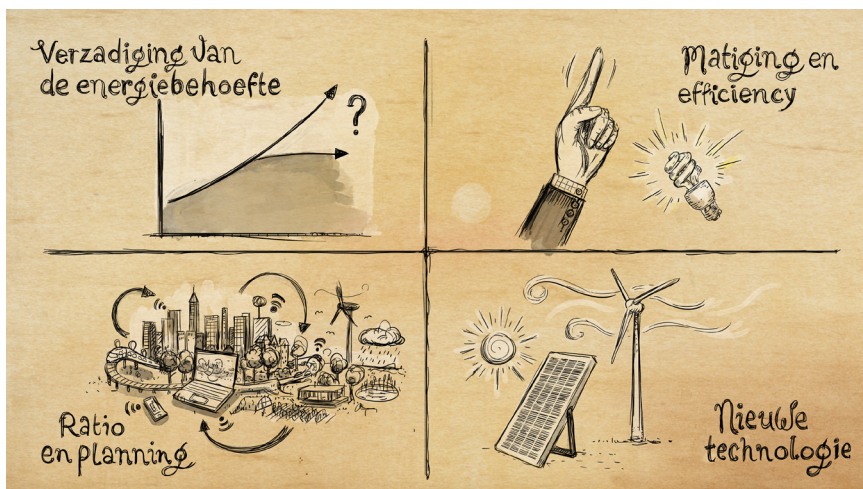
De wereld over drieëndertig jaar

2050. Van nu naar dan zullen we een pad van drieëndertig jaar de toekomst in gaan bewandelen. Laat ik beginnen met een viertal aanwijzingen die richting zouden kunnen geven.

Ten eerste: Het lijkt waarschijnlijk dat ruim voor die datum het huidige patroon van groei veranderd zal zijn. Ofwel zal de totale wereldenergieconsumptie gestabiliseerd zijn, ofwel, als deze door blijft groeien, zal een steeds grotere fractie van die groei opgaan aan het voorkomen van ecologische rampen.

Ten tweede: Het excessieve persoonlijke energiegebruik zal zijn gereduceerd. Met name zal de huidige inefficiënte verwarming en koeling van onze gebouwen tot het verleden behoren, net als inefficiënte auto's en het inefficiënte gebruik ervan.

¹ In dit opzicht bouw ik voort op mijn Leidse oratie, Kramer (2011).



Figuur 1. De vier drijvende krachten achter de evolutie van het energiesysteem.

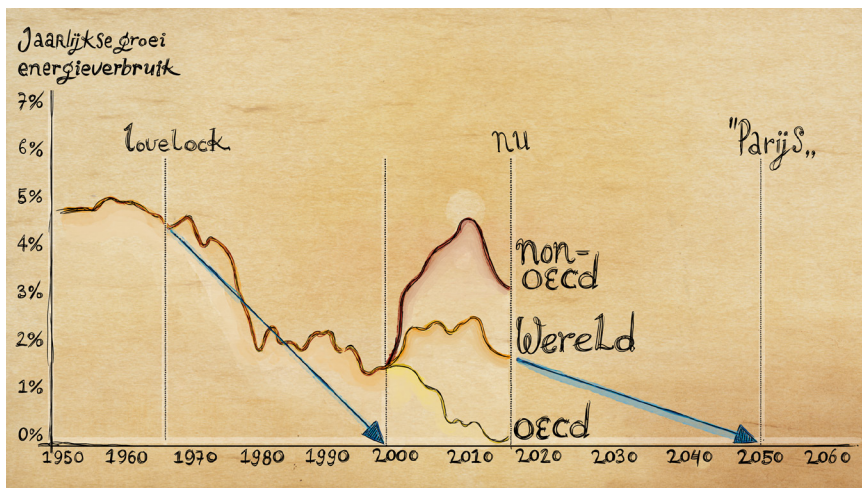
Ten derde: Steden zullen weer compact worden en in buitenwijken zullen mensen steeds meer zelfvoorzienend proberen te leven. Er zal veel aandacht zijn voor het leefbaar maken en houden van steden.

En ten vierde: Ofschoon alternatieve manieren van elektriciteitsopwekking de vraag naar fossiele brandstoffen aanzienlijk zullen verminderen, zal het totale gebruik ervan waarschijnlijk groter zijn dan vandaag. Er zal daarbij een verschuiving zijn van het gebruik als energiedrager naar materialen, chemicaliën, en mogelijk voedsel.

Vier voorspellingen over groei, efficiency, rationele planning en nieuwe technologie vormen een robuuste basis van veel energiescenario's. Wanneer de wereld op al deze vier fronten maximaal inzet dan kan de wereld zelfs dicht in de buurt van de Parijsse doelstellingen komen.

Deze set proposities is evenwel niet van mij. En... ze zijn niet recent. Ze komen uit een korte toekomstverkenning, *Some thoughts on the year 2000*, die James Lovelock in 1966 maakte op verzoek van de toenmalige researchcoördinator van Shell, Lord Rothschild.² In de jaren daarna zou James Lovelock wereldberoemd worden met zijn Gaia-hypothese, het

² Bron: Lovelock (1966).



Figuur 2. De jaarlijkse groei van het energieverbruik vanaf 1950.

idee dat het leven op aarde inwerkt op de niet-levende omgeving en daarmee de condities voor het eigen voortbestaan reguleert. Net als over de biosfeer dacht hij in de jaren 60 op dezelfde brede en onconventionele manier na over het energiesysteem.³

Ik hoop dat deze citaten u in verwarring hebben gebracht. Had Lovelock gelijk? Zijn zijn voorspellingen uitgekomen? En als dat zo is, hoe kunnen deze dan ook nog relevant zijn voor 2050? En omgekeerd: als ze toen niet zijn uitgekomen, waarom dan nu wel?

Ankerpunten van de energietoekomst

Lovelocks meest radicale voorspelling is tevens de belangrijkste: de afremming van groei en verzadiging van het energieverbruik. In 1966 was dat een radicale gedachte. Net als toen geldt ook nu dat de ontwikkeling van de totale energievraag alles domineert in de energiesector. Heeft Lovelock gelijk gekregen?

Toen Lovelock zijn essay schreef groeide de economie jaarlijks met 5 procent en nam de energievraag toe met 4-5 procent per jaar. De heersende gedachte was dat deze

³ Zie Lovelock (1972) en (1979).

groei zou doorzetten. In 1966 gebruikte de wereld jaarlijks 180 EJ primaire energie, het equivalent van 30 miljard vaten olie. Bij gelijkblijvende groei zou de energieconsumptie in het jaar 2000 800 EJ zijn geweest. Maar de werkelijkheid was anders: de wereld verbruikte toen slechts de helft daarvan: 400 EJ.⁴

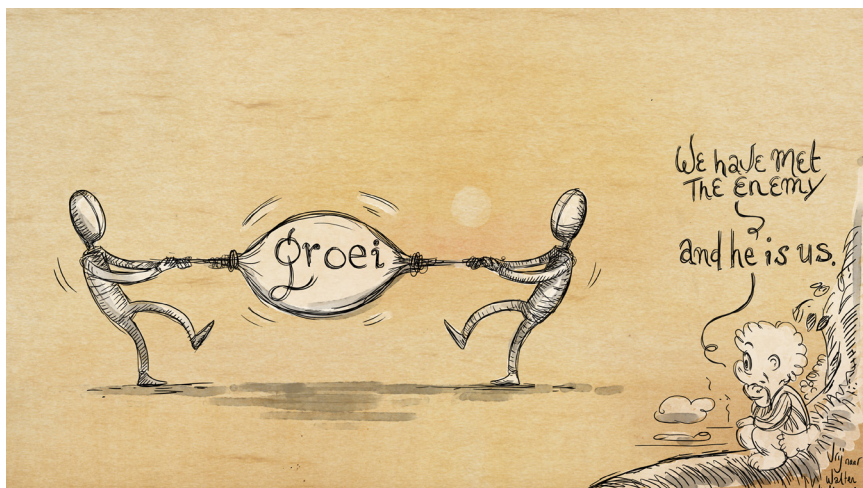
Lovelocks onorthodoxe gedachte over matiging en uiteindelijke verzadiging van het energiegebruik is dus redelijk uitgekomen. Wie de geschiedenis niet kent en alleen naar de getallen kijkt zou een rechte lijn doortrekken van 5 procent in 1966 naar 0 procent in 2000. Wie de geschiedenis wel kent ziet een ander patroon. De naoorlogse groei zette onverminderd door tot aan de oliecrisis van 1973, waarna de groei halveerde. Nog verder differentiërend, naar OECD en non-OECD (de ontwikkelde en de zich nog ontwikkelende wereld), wordt zichtbaar dat de groei van de energievraag in de OECD inderdaad rond 2000 tot stilstand is gekomen, maar dat daarna de groei zich heeft verplaatst naar de zich ontwikkelende wereld, in het afgelopen decennium gedomineerd door de opkomst van China.

Wie de non-OECD in de beschouwingen betreft zal zien dat ook in de komende decennia de groei van de energievraag allesbepalend is. De wereld gebruikt nu ongeveer 600 EJ. Of dat in 2050 800, 1000 of 1200 EJ is, maakt een enorm verschil voor de kans om duurzaamheidsdoelstellingen te halen.

Het cartoonbeeld van groei is dat economen de groei vooruit proberen te trekken en ecologen deze proberen in toom te houden. Maar wat ik mezelf en studenten altijd voorhoudt, is dat dit geen abstracte, externe krachten zijn, maar dat het de polen zijn van onze eigen innerlijke motivaties. Zoals de beroemde cartoon van Earth Day in 1971 al liet zien: 'We have met the enemy, and he is us.'

Lovelocks andere drie voorspellingen gaan over manieren waarop vraag en aanbod van energie worden beïnvloed. Laten we die voorspellingen een voor een de revue laten passeren en ze naar hun aard benoemen. De gedachte dat excessief energiegebruik zal worden teruggedrongen is een combinatie van efficiency – een technische maatregel – en matiging – een morele of, zo u wilt, een lifestylekeuze. De gedachte dat compacte, leefbare steden een belangrijke pijler zijn van een duurzame samenleving is nu nog even actueel als toen. In de kern is het de observatie dat rationele, goede planning van steden en infrastructuur cruciaal is. De laatste voorspelling verwoordt de gedachte dat de eindige fossiele brandstoffen door iets anders vervangen zullen worden het idee van technische vernieuwing. Lovelock dacht dat fossiele brandstoffen in 2000 grotendeels vervangen

⁴ Hier en elders in de oratie zijn historische data van het energiesysteem afgeronde waarden, gebaseerd op statistiek van het International Energy Agency, zie <https://www.iea.org/statistics/>.



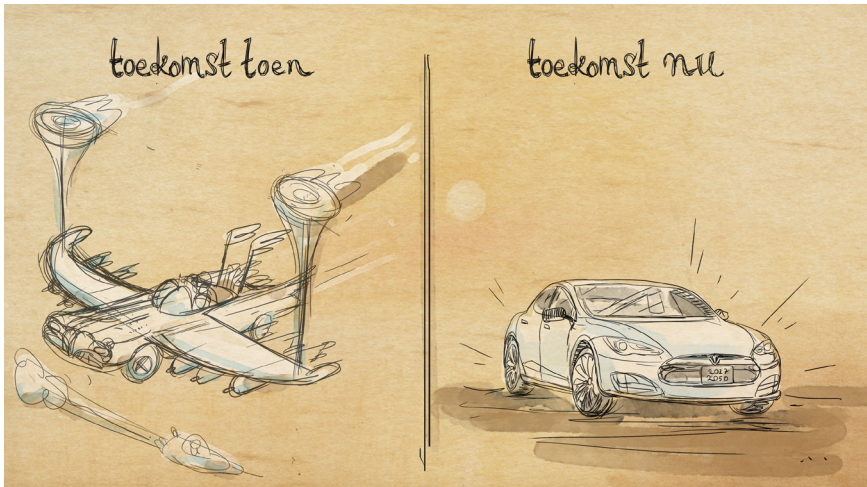
Figuur 3. Cartoonbeelden van het krachtspel rond groei, en tussen economie en ecologie.

zouden zijn door kernenergie en zonne-energie was in 1966 niet meer dan een abstracte mogelijkheid voor de nog verdere toekomst. Nu denken we dat zonne- en windenergie fossiele energie zal vervangen. Dit toont maar weer eens aan hoe lastig het is om specifieke voorspellingen te doen.

Daarom benadruk ik liever de generieke elementen van deze drie gedachten. Deze zijn samen een robuuste set bepalende factoren voor de toekomstige energievoorziening. Daarom zijn ze in hun algemene verwoording nog immer actueel en kunnen we ze als leidraad nemen voor de toekomst. Net als in de afgelopen vijftig jaar zullen ook tot 2050 de krachten van matiging, ratio en planning en van technische verandering invulling gaan geven aan hoeveel en welke vormen van energie we zullen gebruiken.

Het antropoceen; de toekomst is niet langer een vrijblijvend onderwerp

Maar anno 2017 is het naar mijn mening niet meer mogelijk om afstandelijk, abstract en exploratief te filosoferen over de energietoekomst, in de overtuiging dat we uiteindelijk allen slechts toeschouwers zijn, onmachtig om de toekomst te vormen. Die tijd is voorbij.



Figuur 4. Het contrast tussen toen en nu: fantasieën over alternatief transport uit de jaren 60 en de realiteit van vandaag.

Dat was in de jaren 60 wellicht nog anders, maar Lovelock zag dat er rond 2000 een fundamentele verandering zou optreden.

Zijn essay in 1966 afsluitend, stelt Lovelock: ‘In de komende drieëndertig jaar treden we een tijdperk binnen waarin menselijke activiteit een significant deel wordt van alle biologische activiteit op de planeet. Tot nu toe is er een co-evolutie geweest tussen het klimaat op aarde en de chemische compositie van de bodem, de lucht en de zee, waarbij de condities voor het leven optimaal waren. Dit optimum werd actief in stand gehouden door biologisch-cybernetische processen. [Het is belangrijk] dat we dit optimum proberen te behouden, wat ook de reden is van een verstoring. Dit is een interessante uitdaging en het zal ons in leven houden.’

We zien hier duidelijk de contouren van de Gaia-hypothese die Lovelock rond deze tijd ontwikkelde, en ook benoemt hij hier dat rond 2000 de totale menselijke activiteit een dominante invloed zal hebben op het planetaire ecosysteem. Aldus geschiedde, en in 2000 stelde Paul Crutzen hiervoor de term antropoceen voor: een nieuw geologisch

tijdvak, waarin de menselijke activiteit de aarde verandert op een schaal met de impact van geologische processen.⁵

In dit antropoceen is de vrijblijvendheid van toekomstverkenning weg. We hebben geen andere keus dan de energietoekomst gericht vorm te geven. Ontdekken is niet meer vrijblijvend.⁶ We moeten gericht een pad maken. Gelukkig zijn tegelijkertijd de contouren van de technische oplossing van een duurzame energievoorziening concreet geworden.

Technologische opties toen en nu

Ik heb tot nu toe in abstracties gepraat. Ik heb bewust Lovelock geciteerd, die stelt dat je over de verre toekomst eigenlijk alleen in abstracties moet willen praten: ‘wanneer we over het jaar 2000 nadenken [in 1966] moeten we ons beperken tot algemene trends en ons niet vermoeien met de vraag of we dan te voet van Londen naar Brighton zullen gaan, of per fusie-aangedreven hovercraft’. De vrijblijvendheid waarmee Lovelock dat nog kon zeggen, is inmiddels weg. Er is regeringsbeleid dat zegt dat we in 2050 van Utrecht naar Zandvoort zullen gaan per elektrische auto – of met de trein, of met de fiets. Maar dit is alleen mogelijk omdat de technische alternatieven – de elektrische auto – reële opties zijn, niet meer de ingenieursdromen die het vijftig jaar geleden waren. Nu we de energietoekomst minder vrijblijvend tegemoet moeten treden dan vijftig jaar terug, zijn gelukkig de technische oplossingen veel duidelijker en concreter dan toen. Dit mag ons hoop geven.

Verschil maken

In het onderzoek in mijn veld – duurzame energievoorziening – en in mijn eigen onderzoek staat de verbinding tussen het abstracte en het concrete centraal. In onze groep werken we zowel aan de modellering van het energiesysteem als aan de evaluatie van concrete energietechnologieën. Door de verbinding te leggen willen we *verschil maken*. Niet toevallig was dit de titel van het jubileumboek bij de gelegenheid van het twintigjarig bestaan van de groep Natuurwetenschap en Samenleving van Wim Turkenburg, waaruit Energy & Resources is voortgekomen.⁷ In het tweede deel van mijn lezing wil ik u een beeld schetsen van hoe ik verschil wil maken in dit veld: hoe ik wil proberen het abstracte

⁵ Bron: Crutzen (2002).

⁶ Een recent boek van de astrobioloog David Grispoon (2016) benoemt dit door te stellen dat de uitdaging waar de mensheid voor staat de overgang is van ‘inadvertent planetary change’ naar ‘intentional planetary change’.

⁷ Bron: Van der Hoeven (2008).

en het concrete te verbinden door een verhaal dat ons helpt een toekomstbeeld te ontdekken dat handelen mogelijk maakt – dat richting geeft op het pad naar de toekomst.

Wat is het verhaal over problemen en oplossingen?

Al vanaf de jaren 80 is klimaatverandering door broeikasgassen het dominante energiegerelateerde milieuprobleem. Het is goed om te beseffen dat hoewel de dreiging van de opwarming van de aarde door de accumulatie van CO₂ al heel lang onderkend was, dit een latente dreiging was die niet op de voorgrond stond in het maatschappelijk discours. De verklaring in 1988 van de NASA-klimaatwetenschapper James Hansen voor het Amerikaanse Congres wordt vaak gezien als het moment waarop het besef van het klimaatprobleem als urgent werd onderkend.⁸

De eindigheid van grondstoffen is wel een constante gebleken in het brede maatschappelijk discours over duurzaamheid, al golven de aard en de intensiteit van de zorgen mee met de economische cycli van de grondstoffenmarkten.⁹

De veranderingen van perspectief bij de oplossingen zijn zo mogelijk nog dramatischer. Tot in de jaren 70 werd kernenergie als het enige alternatief voor fossiele brandstoffen gezien. Het heeft evenwel die belofte niet waargemaakt en zal dat naar mijn mening ook nooit doen. Kernsplitsing is lastig en kostbaar gebleken. Fusie is nog net zo'n verre toekomstdroom als vijftig jaar geleden.¹⁰ Maar zon, wind en bio-energie hebben zich in de tussenliggende jaren ontwikkeld tot commerciële, schaalbare alternatieven.

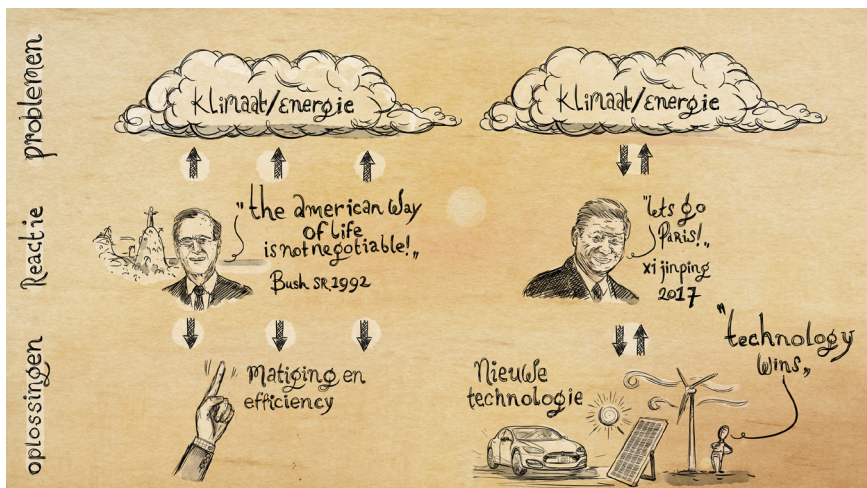
Velen zijn geneigd om somber te zijn over de snelheid waarmee ontwikkelingen gaan, terwijl toch iedereen weet dat veranderingen in het energiesysteem decennia duren. Nu ik zelf drie decennia in energieonderzoek zit en twintig jaar in alternatieve energie ontleen ik ook steeds meer hoop juist aan de spectaculaire veranderingen die zich hebben voorgedaan – in weerwil van de dag-tot-dag impressie die we – en ik ook – soms hebben. Dertig jaar geleden waren er nauwelijks betaalbare, schaalbare hernieuwbare energiebronnen. Nu wel. Dit maakt een wereld van verschil.¹¹

8 Zie New York Times (1988). Voor de klimaatdiscussie in Nederlandse context, zie Duyvendak (2011); voor de Amerikaanse discussie, zie Meyer (2006).

9 Zie Sabin (2013) voor een reconstructie van de historische weddenschap tussen de ecooloog Paul Ehrlich en de econoom Julian Simon.

10 Zie Lopes Cardozo *et al.* (2016).

11 Samen met Martin Haigh heb ik in 2009 een beschouwing in *Nature* geschreven over de snelheid van ontwikkeling en opschaling van energietechnologie. Zie Kramer en Haigh (2009).



Figuur 5. Bush' uitspraak uit 1992 contrasteert met die van Xi Jinping uit 2017. Ons begrip van het probleem is veel minder veranderd dan de mogelijkheden die technische oplossingen bieden.

Het abstracte, het concrete en het verbindende verhaal

Om dit te illustreren wil ik een uitspraak van George Bush (de oudere) uit 1992 in herinnering roepen, die hij deed naar aanleiding van zijn houding op Earth Summit in Rio de Janeiro in 1992: 'The American way of life is not up for negotiation.'¹² Geplaatst in de tijd, en met de ervaringen van de kwarteeuw erna, kunnen we stellen dat Bush niet alleen een politieke uitspraak deed, maar dat hij ook een diepe waarheid benoemde: waar geen technisch alternatief is, zal geen vrijwillige verandering zal plaatsvinden. Er is empirisch bewijs dat de klimaatontkenning van de afgelopen decennia voor een deel is terug te voeren op de cognitieve dissonantie die ontstaat wanneer een probleem geen aanvaardbare oplossing heeft.¹³ En als we terugkijken moeten we constateren: in 1990 was er geen echt alternatief – afgezien van matiging en soberheid. Vandaar de spanning rond de 'American way of life'.

¹² De uitspraak is veelvuldig geciteerd. Zie bijvoorbeeld Vidal (2012).

¹³ Zie bijvoorbeeld Stoll-Kleemann (2001).

Ergens vanaf 2000 is deze situatie fundamenteel veranderd. De oorzaak is met name de commercialisering van zonne-energie en windenergie, en de schaalbaarheid daarvan. Wat in 2000 nog slechts een industrie was met 10 miljard euro omzet is inmiddels gegroeid naar een omzet van meer dan 300 miljard.¹⁴ Zeg me wat u nodig heb, en ik bouw het. *Technology wins*.

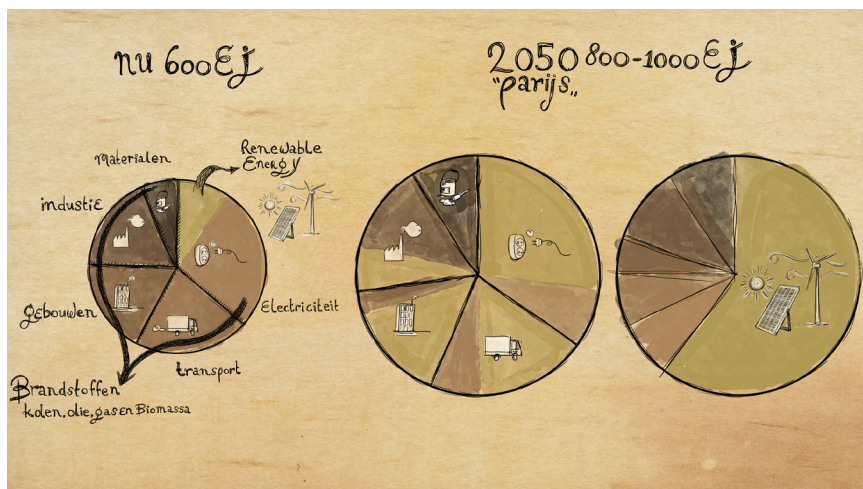
Dit idee, *technology wins*, zou ik voor 2017 tegenover Bush' niet-onderhandelbaarheid van lifestyle willen zetten. Deze simpele, maar krachtige slogan hoorde ik een aantal jaren geleden met effect gebruikt worden in een workshop over energiescenario's waaraan ik deelnam. Adam Posen, president van het Peterson Institute in Washington, debiteerde het tegen het eind van een frustrerende werksessie waarin we steeds wanhopiger probeerden een plausibel verhaal voor een twee-gradentoeekomst te maken. *Technology wins*: wanneer de technologie er niet is, gebeurt er niks, hoezeer we het ook zouden willen. Maar als de technologie er wel is, dan creëert technologie markten en kan het energieprobleem worden aangepakt. Ironisch genoeg lijkt juist Xi Jinping dit beter te begrijpen dan Bush' verre opvolger.

Natuurlijk zitten hier haken en ogen aan. Maar voordat ik de mitsen en maren met u doorneem, wil ik benadrukken dat dit ons hoop geeft dat de oplossing van het klimaatprobleem binnen ons bereik ligt. 'Parijs' is te halen op basis van de technische vooruitgang van de afgelopen decennia en de te verwachten voortuitgang in de komende decennia.

We kunnen dus de energietransitie het best tegemoet treden op basis van *technology can win*.

Het uitgangspunt bij mijn werk aan de energietransitie is dat we om technologie te laten winnen en daarmee de energietransitie succesvol te kunnen uitvoeren, een verbinding moeten zien te maken tussen de abstracte, langetermijn-wereldproblematiek van klimaat en energie, en de concrete oplossingen, de nieuwe technologie die we beschikbaar hebben. De verbindende schakel moet een betekenisvol, rijk verhaal zijn, dat zowel voor ons ieder persoonlijk als voor ons collectief handelingsperspectief biedt. Het abstracte, het concrete en het persoonlijke moeten samen komen in een verhaal dat houvast, richting en inspiratie biedt. Dit is ook de leidraad bij mijn werk als hoogleraar en ik zal uiteenzetten wat de implicaties zijn voor de manier van onderzoek doen die wat mij betreft past bij het onderwerp van de energietransitie en die beoogt om met ons werk *verschil te maken*.

¹⁴ Voor de wereldwijde investeringen in alternatieve energie, zie Bloomberg New Energy Finance.



Figuur 6. De verdeling van het gebruik van primaire brandstoffen en primair elektrische bronnen (zon, wind, waterkracht en kernenergie) vandaag en een schatting voor 2050 bij maximale ontwikkeling van hernieuwbare elektriciteit en maximale elektrificering van alle eindgebruiksectoren.

Energieopties, deel 1: elektriciteit

Laat me samen met u verkennen hoe we ervoor staan. Laat ik thuis beginnen. Vorige maand heb ik – eindelijk – zonnepanelen op mijn dak laten leggen. Daarmee is ons gezin toegetreten tot de groeiende gemeenschap van *prosumers*. We zijn niet langer alleen energieconsument, maar ook producent. We verwachten komend jaar ongeveer 4000 kWh op te wekken, ongeveer evenveel als we verbruiken. De installatie kost 6000 euro en bespaart ons jaarlijks 900 euro op onze energierekening, een terugverdientijd van zeven jaar. Al na tweeënhalf jaar zullen de zonnepanelen zich energetisch hebben terugverdiend. Mijn panelen zijn 35 jaar gegarandeerd voor een productie van 88,5 procent van wat ze nu leveren. Ik kan mijn actie plaatsen in een breder kader. Ik volgde mijn burens en andere burens volgen mij. Ik weet dat zonne-energie op termijn een zeer significant deel van de wereldenergieproductie voor z'n rekening zal nemen. *Technology wins*. Als al onze daken vol liggen zal er overcapaciteit zijn als de zon schijnt, en ruim voor die tijd schaft de minister de salderingsregeling af die zonnepanelen nu zo aantrekkelijk maken. Maar dan plaats ik

een accu in mijn kelder en koop een elektrische auto. Misschien doen we dat sowieso wel. *Technology wins.*

Zonne-energie is dus een robuuste propositie. Mijn persoonlijk handelen is logisch verbonden met het grote verhaal over de grote rol die zonne-energie speelt in de energietransitie. Een bijna even robuust verhaal is te houden over wind, wind op land en wind op zee. De spelers zijn anders, maar de redenen om het te doen zijn overtuigend en het gemor dat windmolens op subsidie draaien is grotendeels verstomd. Een uitdaging is en blijft de landschappelijke en planologische inpassing.¹⁵ En steeds meer zal ook de economische inpassing een probleem worden. In Nederland vraagt dat bijvoorbeeld zeker om een aanpassing van de marktregels. Toch is het een robuust verhaal, maar wel een verhaal dat door de tijd heen aangepast en onderhouden zal moeten worden. Dan zal hernieuwbare elektriciteit blijven winnen.

Maar het verhaal is niet volledig. Thans komt 90 procent van alle energie uit koolstof: kolen, olie, gas en biomassa. Ook de meeste elektriciteit wordt met kolen of gas opgewekt. Slechts 10 procent van alle primaire energie is koolstofloos: kernenergie en waterkracht, en inderdaad steeds meer zon en wind. De meeste analyses van de globale energietransitie geven aan dat elektriciteit uiteindelijk wellicht ruim de helft van de energievraag kan bedienen, maar niet alles. Voor de andere helft zullen we op brandstoffen aangewezen blijven. Voor zwaar transport, voor vliegen, voor de industrie en als grondstof voor de chemie. Hoewel ik de beste jaren van mijn leven heb gegeven aan waterstof als toekomstige brandstof, denk ik dat de uitdagingen uiteindelijk te groot zullen zijn om waterstof wereldwijd tot een dominante energiedrager te maken. Daarmee blijven koolwaterstoffen ook in de toekomst nodig. 300, 400 EJ per jaar. In absolute termen iets minder dan nu, maar meer dan we ooit uit bio-energie kunnen hopen te verkrijgen.¹⁶

Zon en wind zullen de werkpaarden zijn van wat ik de eerste helft van de energietransitie zou willen noemen. En, hoewel ik daar omwille van de tijd niet nader op inga, hernieuwbare warmte zal ook een aandeel hierin hebben. Maar wat zijn de opties voor de tweede helft? Hoe kunnen we koolstof als energiedrager blijven gebruiken als de daarmee geassocieerde CO₂-emissies naar nul moeten? Er zijn in grote lijnen drie manieren om dit te doen. Ik zal ze een voor een bespreken en met u op zoek gaan naar de drie verhalen rond de technische mogelijkheden en de mogelijke bijdrage aan de oplossing van het grote, globale energie- en klimaatvraagstuk.

¹⁵ Zie Kiesecker (2017) voor de uitdagingen, alsmede voor voorbeelden van succesvolle inpassing.

¹⁶ Deze analyse is gebaseerd op een analyse die ook ten grondslag ligt aan een recente publicatie van Shells scenariogroep. Zie Shell (2016).

Energieopties, deel 2: brandstoffen

Ten eerste biomassa en bio-energie. Zoals collega Junginger heeft verteld, levert bio-energie een rijk palet aan bestaande en toekomstige opties. Maar hij heeft ook laten zien dat deze opties nooit de enorme toekomstige vraag naar duurzaam, circulair koolstof kunnen afdekken. Omdat biomassa letterlijk van het land komt is de strijd tussen hoeveelheid en duurzaamheid inherent, wat mooi geïllustreerd werd door zijn ‘panacee of pandemonium’. De bottomline voor mijn verhaal is dat de maximum bijdrage van biomassa op z’n allerbest de helft van de vraag naar koolstof afdekt. En dat alleen als er *global governance* komt met *local reach*. Wanneer de landbouw en biomassaproductie over de hele wereld zo zorgvuldig is als op een Wageningse proefakker. Bio-energie is niet één verhaal, maar een patchwork van kleine verhalen – iets tussen panacee en pandemonium.

De tweede mogelijkheid is de afvang en opslag van de CO₂ die bij verbranding van fossiele brandstoffen vrijkomt. Dit idee – kortweg aangeduid als CCS – heeft een lange geschiedenis en er is in onze groep steeds aan gewerkt vanaf het pionierswerk van Kornelis Blok en Wim Turkenburg eind jaren 80.¹⁷ Zelf heb ik sinds 2000 aan het onderwerp gewerkt en gezien dat het verhaal rond CCS niet tot leven kwam, en daarmee de toepassing niet van de grond, ondanks het feit dat de technologie, de concrete technische bouwstenen, beschikbaar waren. Aanvankelijk was de propositie dat CCS goedkoper zou zijn dan hernieuwbare energie en dat het sneller tot ontwikkeling gebracht kan worden omdat de technologie een variatie is op bekende olie- en gastecnologie, en daarmee een enorme industriële basis heeft. Dit had zo kunnen zijn, maar het verhaal was maatschappelijk onvoldoende aansprekend waardoor uiteindelijk de politieke wil ontbrak om CCS te ontwikkelen. Er is twintig jaar gestudeerd maar hoegenaamd niet geïmplementeerd. In Nederlands niet, en elders ook niet. Niets doen heeft bovendien het verhaal ontkracht. Zon en wind zijn spectaculair gegroeid en goedkoper geworden. Vandaag is CCS noch sneller, noch goedkoper. Toch wijzen de meeste energiesysteemstudies op de noodzaak om CCS grootschalig toe te passen wil de wereld kans maken de Parijse ambities te realiseren. ‘Ooit’, maar zeker voor 2050 zullen we het nodig hebben. De technologie is er, de noodzaak is er, maar een gedeeld maatschappelijk verhaal is er niet. De burger wil het niet, de politiek aarzelt, de industrie wil wel, maar kan niet. Het mantra ‘de vervuiler betaalt’ klinkt hier hol, want wie is de vervuiler? De industrie? Of wij zelf? We have met the enemy...

Er is nog een laatste, groot alternatief. Synthetische brandstof uit hernieuwbare elektriciteit, water en CO₂ uit de lucht – als een industriële pendant van bio-energie.

¹⁷ Zie Blok *et al.* (1992).

Ik zei alternatief, maar ik had moeten zeggen een *mogelijk* alternatief dat *op termijn* grootschalig zou kunnen worden ingezet. Ik laat hier, omwille van de tijd, de ruis weg die er is rond het idee van CO₂-hergebruik. Ik bespreek alleen de zinnige manier om in de toekomst CO₂ in te zetten als grondstof, namelijk door CO₂ uit de lucht af te vangen en chemisch te koppelen aan hernieuwbaar waterstof verkregen uit de elektrolyse van water door middel van hernieuwbare elektriciteit. Zo kunnen we een synthetische brandstof maken – een *solar fuel*. Het onderwerp staat momenteel intens in de belangstelling en ook in onze groep werken we aan de techno-economische en milieuanalyse van bestaande en toekomstige varianten.¹⁸

In termen van de verhalen die het abstracte en het concrete verbinden, is de situatie het spiegelbeeld van CCS. Het verhaal is er, maar de technologie is er (nog) niet. Er is geen beter verhaal dan dat van solar fuels. De loop van de technologiegeschiedenis heeft ons een energieinfrastructuur en eindgebruikstechnologieën gegeven die letterlijk gemaakt zijn voor koolwaterstoffen. Dus als we op industriële schaal, met nieuwe technologie synthetisch groene brandstof kunnen maken dan is het probleem opgelost. Iedereen is er voor, iedereen wil het hebben. Niets staat een onstuimige verovering van de markt in de weg. *Technology wins...* Als de technologie er eenmaal is, en betaalbaar is.

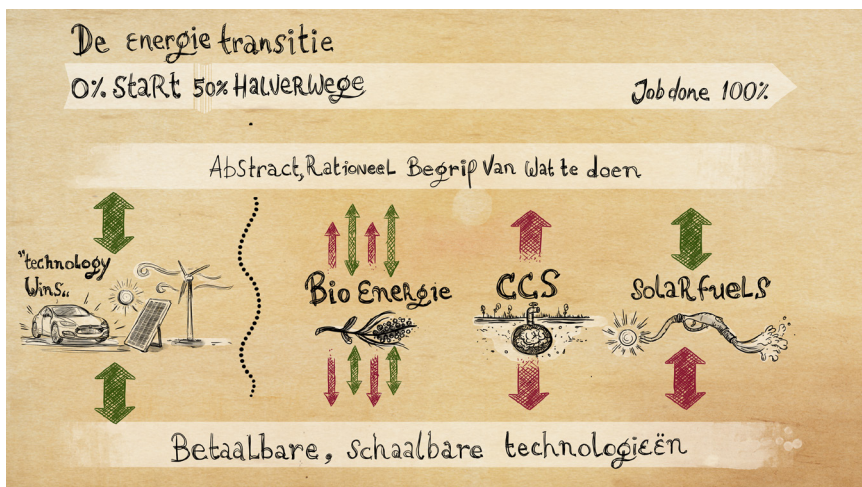
Een ruwe schatting suggereert dat solar fuels nu 1000 euro per vat zouden kosten. Met oud-collega's van Shell en een van mijn oud-studenten hebben we laten zien dat het plausibel is dat normale vooruitgang van bestaande technologieën de kosten van solar fuels tot 200 euro per vat terug zouden kunnen brengen, en dat wanneer we dit universeel zouden gebruiken als substituuut voor olie, kolen en gas, de wereld in 2050 een zelfde deel van het bruto wereldproduct uit zou geven aan energie als we nu doen.¹⁹ Daarmee is het abstracte plaatje in orde, maar de technologie is nog niet inzetbaar. *Technology can win...*

Alles overziend...

Als we dit alles overzien dan kom ik tot het volgende beeld over de energietransitie. Voor hernieuwbare elektriciteit (zon en wind) staan alle lichten op groen. Als we in staat zijn om in samenhang daarmee ondersteunende technieken te ontwikkelen voor opslag en opvang van de variabiliteit van deze energiebronnen, dan kan de energietransitie in Nederland en in de wereld aan momentum winnen en is er nog zeker twintig jaar werk.

¹⁸ De 'grand vision' is mooi verwoord in Gray (2009). Recente Nederlandse onderzoeksprogramma's getuigen van de interesse. Te weten het FOM-programma CO₂-neutrale brandstoffen, het BioSolar Cells-programma binnen het TKI BioBased Economy, en het nieuwe NWO-programma Solar-to-Products.

¹⁹ Zie White en Kramer (2017).



Figuur 7. Om de energietransitie voortvarend te kunnen uitvoeren, is een verhaal nodig dat de abstracte noodzaak van ombouw van het klimaatsysteem verbindt met concrete technologische opties. Ik betoog dat dit verhaal er voor de eerste helft van de energietransitie grotendeels is, maar niet voor de tweede helft, waarvoor de wereld nog zoekt naar een verhaal rond de vele technische opties.

Aan de brandstoffenkant, de koolstofkant is het anders. De voortgang is betrekkelijk traag – zoals bij bio-energie –, geheel afwezig – als in het geval van CCS – of er zijn alleen maar hoopvolle ontwikkelingen – zoals bij solar fuels. We moeten in het komende decennium helderheid verschaffen en handelingsperspectief bieden rond deze zo verschillende opties, en van de zo verschillende verhalen één herkenbaar, aansprekend verhaal maken. Zo'n verhaal kan het verschil maken.

Onderzoeksprogramma

Hieraan wil ik met mijn hoogleraarschap bijdragen. Ik beoog drie onderzoekslijnen tot ontwikkeling te brengen. Ten eerste technology assessment – het concrete. Onze groep heeft een lange traditie in technology assessment op het gebied van bio-energie en CCS. De studie van CCS wil ik voortzetten, maar ik wil daarnaast ook solar fuels gaan bestuderen. In Leiden heb ik hier al een begin mee gemaakt samen met Coen van

der Giesen. Matteo Gazzani, die net aangesteld is als universitair docent, zal mij daarbij ondersteunen en Shell heeft een nieuw project gefinancierd waarin ik samen met collega Martin van Sint Annaland van de Technische Universiteit Eindhoven de technology assessment ga doen van de technologieën die in het NWO-programma Solar-to-Products worden bestudeerd en ontwikkeld.

In het abstracte wil ik het werk aan energiesysteemmodellering in onze groep versterken door meer te werken met agent based modelling. Hiermee beoog ik om de abstracte rekenarij aan ‘optimale’ energiesystemen te sturen in de richting van modellering die vraagt: wie doet wat? Agent based modelling beschrijft de transitie vanuit de actoren: consumenten, producenten, investeerders en overheden. Oscar Kraan, begonnen in Leiden, is in de afrondende fase van mooi funderend werk op dit gebied. Ik hoop een brug te slaat tussen getsalsmatige en scenario-analyses, waar ik in mijn Shell-tijd veel ervaring mee heb opgedaan, iets wat ik in mijn nieuwe, academische omgeving wil inbrengen.

Tot slot: het verbindende, brede, maatschappelijk gedeelde en begrepen verhaal over deze moeilijke tweede helft van de energietransitie. Ik wil hieraan te werken door de energietransitie van de Nederlandse industrie te bestuderen samen met collega's van verschillende faculteiten hier in Utrecht en binnen het strategisch thema Duurzaamheid van onze universiteit. Industrie is de plek waar de slag geslagen zal moeten worden om koolstof te kunnen blijven gebruiken zonder (netto) CO₂-emissies. Ook in 2050 zullen er nog raffinaderijen en chemische fabrieken zijn, en staal- en cementfabrieken. Een paar maanden terug zag ik collega Rotmans van de Erasmus Universiteit Rotterdam op het journaal, met brede gebaren in de richting van de Botlek achter hem beweren: ‘Over vijftien jaar is dit een fossiel mausoleum geworden.’²⁰ Dat denk ik niet. De industrie zal veranderen, zal *moeten* veranderen. Installaties zullen verbouwd, gesloopt en vernieuwd worden. Wellicht is het portfolio van activiteiten zelfs anders door een globale herschikking, gedreven door een wereldwijde energietransitie waarin er voor de energie-intensieve industrie nieuwe regio's zijn met lage kosten voor CO₂-neutrale energie. Of wellicht kan Nederland dat zijn. Als wind op zee en CCS worden ontwikkeld.

We weten het niet. Er zijn ideeën, studies, initiatieven, maar er is geen breed gedragen maatschappelijk verhaal dat begrepen en gesteund wordt door de burger en de kiezer (als onderdeel van de energietransitie), waar de politiek een wetgevend en bestuurlijk kader voor kan maken waardoor bedrijven kunnen en willen investeren. Zo'n verhaal is er niet. Niet in Nederland, maar ook elders niet. Daarom wachten we af wat te doen met dit tweede deel van de energietransitie. Ik hoop en verwacht dat we hier een bijdrage kunnen leveren om in Nederland deze patstelling te doorbreken. Dat heeft tijd nodig, maar vraagt ook – voor ons academici – een nieuwe manier van werken.

20 Bron: uitzending *Nieuwsuur*, 2 mei 2017.

Werkwijze

Er zijn twee begrippen rond nieuwe manieren van wetenschapsbeoefening belangrijk. De eerste is de notie van post-normal science, geïntroduceerd door Funtowicz en Ravetz in de jaren 90.²¹ Een adaptatie van de klassieke wetenschappelijke praktijk met elementen uit de professionele consultancy, die noodzakelijk is wanneer (in hun woorden) ‘feiten onzeker zijn, waarden ter discussie staan, de belangen groot zijn en beslissingen urgent’. Er is nauwelijks een compactere beschrijving te geven van de uitdaging van de energietransitie.

De andere notie is die van transdisciplinariteit, een leidend thema in het Duurzaamheidsprogramma van deze universiteit. Centraal hierin staat de gedachte dat om voortgang te maken met deze complexe problematiek, wetenschappers uit diverse disciplines actief samenwerken, met als doel om zowel de wetenschappelijke methode als de praktijk te verbeteren.²² Zelf heb ik twintig jaar lang posities in het bedrijfsleven en de universiteit gecombineerd en ik kan getuigen van dit belang en het nut daarvan. (Maar ook van hoe lastig het kan zijn.)

Als ik nadenk over hoe ik als hoogleraar met die combinatie om moet gaan, kom ik op twee begrippen uit. Het vraagt van mij als wetenschapper dat ik de houding van de intellectueel aanneem, waarvan de kern is: nadenken samen met anderen, denken in de publieke ruimte.²³ En het product is niet alleen het wetenschappelijk artikel. Het product is ook niet – aan de andere kant van de transdisciplinaire samenwerking – de bulletpointslide van de consultant en de beleidsmaker. Het wetenschappelijk artikel mist bereik; de bulletpointslide mist diepte; beide schieten tekort in verhalende, verbindende kracht. Ik denk dat er een rol is weggelegd voor de essayistische aanpak en het essay als communicatiemiddel.

Aan het begin noemde ik deze oratie een gesproken essay. Het verhaal dat ik u heb verteld viel (voor mij) op z'n plaats volgens de regel die Aldous Huxley heeft opgesteld voor het essay: het combineert het abstracte, het concrete en het persoonlijke.²⁴

Ik vind het voor mijzelf een belangrijke uitdaging om als hoogleraar ook intellectueel en essayist te durven zijn.

21 Zie Funtowicz en Ravetz (1993).

22 Zie bijvoorbeeld Lang *et al.* (2012).

23 Zie bijvoorbeeld Fuller (2005).

24 Zie de inleiding in Huxley (1960).

Conclusie

Ik sluit af met een reflectie op uw mogelijke reactie op ons beider oraties. Gaat u weg met een optimistisch gevoel over de haalbaarheid van doelstellingen van het klimaatbeleid en de energietransitie? Of bent u juist somberder? Als we het goed gedaan hebben dan weet u het niet. Een beetje van allebei. Na heel veel lezingen en lange overpeinzingen over de uitdagingen van een duurzame toekomst, kom ik altijd terug bij deze woorden van Donella Meadows, een van de auteurs van het rapport van de Club van Rome: 'Er is precies genoeg tijd... als we nu beginnen.'²⁵

Dankwoord

Tot slot een paar woorden van dank. Allereerst mijn dank aan rector Bert van der Zwaan en decaan Piet Hoekstra voor het in mij gestelde vertrouwen. Ik vind het een eer aan deze universiteit te mogen werken.

Het is bijna veertig jaar geleden dat ik in Leiden de universiteit en de universitaire wereld betrad. Ik ben nooit echt weggegaan. Ik ben gevormd in de Leidse fysica, en in de groep van professor Huiskamp, en ik blij dat hij er vandaag bij kan zijn. Hoewel ik ver afgedwaald ben van de fysica is die voor mij een basis die nog altijd van onschatbare waarde is.

Rutger van Santen is vanaf het moment dat ik naar Shell ging mijn wetenschappelijke en intellectuele mentor en sparringpartner geweest en heeft mij de gelegenheid gegeven academisch actief te blijven. Hij kon hier vandaag niet aanwezig zijn, maar ik dank hem zeer.

In mijn Shell-tijd heb ik genoten van de intellectuele sfeer en is mijn beeld van de energietransitie gevormd door de vele discussies in het Future Energies Team en met Shells scenariogroep. In de loop van vele jaren heb ik veel Shell-collega's van gedachten kunnen wisselen, maar ik wil speciaal noemen Bruce Levell, Chris Laurens, Jeremy Bentham, Wim Thomas en Martin Haigh.

Dan wil ik mijn nieuwe collega's van Energy & Resources en het Copernicus Instituut bedanken voor de ontvangst in hun midden. Martin refereerde er al naar, ik ben hier 'pas' een jaar. Zowel de groep als het instituut hebben een rijke, levende traditie en zijn tegelijkertijd een sprankelende omgeving die mij dagelijks inspireert. Ik waardeer zeer de manier waarop Ernst Worrell de groep op een niet-hiërarchische manier leidt.

²⁵ Bron: Lovins (2001).

Ten slotte wil ik mijn lieve Hanneke bedanken. In de diepere lagen van mijn werk gaat het altijd over de balans tussen optimisme en pessimisme rond de energietransitie. Die balans moet ik ook altijd in mijn geest proberen te vinden, en jij, Hanneke, bent daar als geen ander belangrijk in.

Ik draag deze oratie op aan mijn dochters Maartje en Anne. En daarmee stel ik me zelf ten doel om me de komende jaren hard in te spannen om met hen en hun generatie de toekomst te ontdekken.

Ik heb gezegd.

Referenties

- Blok, K., Turkenburg, W., Hendriks, C., and Steinberg, M. (1992), *Proceedings of the First International Conference on Carbon Dioxide Removal*, Energy Conversion and Management **33** (5–8), 283–826.
- Crutzen, P.J. (2002), *Geology of mankind*, Nature **415**, 23.
- Duyvendak, W. (2011), *Het groene optimisme – Het drama van 25 jaar klimaatpolitiek* (Bert Bakker).
- Fuller, S. (2005), *The Intellectual – The Positive Power of Negative Thinking* (Icon Books).
- Funtowicz, S.O., and Ravetz, J.R. (1993), *Science for the Post-Normal Age*, Futures, September 1993, 739–755.
- Gray, H.B. (2009), *Powering the planet with solar fuel*, Nature Chemistry **1**, 7.
- Grispoon, D. (2016), *Earth in Human Hands – Shaping Our Planet's Future* (Grand Central Publishing).
- Hoeven, D. van der (2008), *Vershil maken – Twintig jaar NW&S in Utrecht* (Universiteit Utrecht).
- Huxley, A. (1960) *Collected Essays* (Chatto & Windus).
- Kiesecker, J.M., and Nagle, D.E., eds. (2017), *Energy Sprawl Solutions* (Island Press).
- Kramer, G.J., and Haigh, M., *No Quick Switch to Low-Carbon Energy*, Nature **462**, 568–9.
- Kramer, G.J. (2011), *The Accidental Cathedral – Thoughts on rebuilding the energy system* (oratie, Leiden), <https://openaccess.leidenuniv.nl/handle/1887/17731>.
- Lang, D.J., Wiek, A., Bergmann, M., Stauffacher, M., Martens, P., Moll, P., Swilling, M., and Thomas, C.J. (2012), *Transdisciplinary research in sustainability science: practice, principles, and challenges*, Sustainability Science **7** (Supplement 1), 25–43.
- Lopes Cardozo, N.J., Lange, A.G.G., and Kramer, G.J. (2016), *Fusion: Expensive and Taking Forever?*, Journal of Fusion Energy **35**, 94–101.
- Lovelock, J.E. (1966), *Some thoughts on the year 2000*, memorandum to Lord Victor Rothschild, research co-ordinator of Royal Dutch/Shell (1966), reproduced in *The Colours of Energy – Essays on the future of energy in society*, Gert Jan Kramer and Bram Vermeer, eds. (Shell, 2014), available as e-book (2016) from www.shell.com/colours. De vier citaten die vertaald en aangepast in de tekst staan, zijn in het origineel de volgende: 1: 'Considerably before 2000 therefore it seems likely that the current pattern of growth will have changed. Either the total consumption of energy will have levelled off or if it does rise tenfold then the greater part of this increase will be spent in insurance against ecological disaster.'; 2: 'The personal use of energy in large quantities will be passing. In particular, the present grossly inefficient domestic heating and cooling methods will no longer be possible, nor will high-powered personal transport.'; 3: 'Cities will become dense again and suburbs go back to the plough.'

- Passive heating and cooling will be used, as will public transport. A great deal of effort will go to making the cities bearable to live in.'; 4: 'Although predominance of nuclear power will have greatly reduced the growth of energy supply from combustion it will still probably be greater than now. More important there will be a very large increase in the sales of products as materials and chemicals and even possibly food.'
- Lovelock, J.E. (1972), *Gaia as seen through the atmosphere*, *Atmospheric Environment* 6, 579-580.
- Lovelock, J.E. (1979), *Gaia, A New Look at Life on Earth* (Oxford University Press).
- Lovins, A.B. (2001), *Tribute to Donella Meadows*, 22 April 22 2001, <http://donellameadows.org/tribute-to-dana-meadows-7/>.
- Meyer, R. (2006), *Intractable Debate: Why Congressional Hearings on Climate Fail to Advance Policy*, *Perspectives in Public Affairs*, 3, 85 (spring 2006).
- New York Times (1988), *Global Warming Has Begun, Expert Tells Senate*, 24 June 1988, <http://www.nytimes.com/1988/06/24/us/global-warming-has-begun-expert-tells-senate.html?pagewanted=all>.
- Sabin, P. (2013), *The Bet – Paul Ehrlich, Julian Simon and Our Gamble over Earth's Future* (Yale University Press).
- Shell (2016), *A Better Life with a Healthy Planet – Pathways to net-zero emissions*, www.shell.com/scenarios.
- Stoll-Kleemann, S., O'Riordan, T., and Jaeger, C.C. (2011), *The psychology of denial concerning climate mitigation measures: evidence from Swiss focus groups*, *Global Environmental Change* 11, 107-117.
- Vidal, J. (2012), *Rio+20: Earth summit dawns with stormier clouds than in 1992*, *The Guardian*, 19 June 2012, <https://www.theguardian.com/environment/2012/jun/19/rio-20-earth-summit-1992-2012>.
- White, E., and Kramer, G.J. (2017), *The Changing Meaning of Energy Return On Investment*, in voorbereiding.

Curriculum vitae

Gert Jan Kramer (1961) studeerde natuurkunde in Leiden waar hij in 1988 promoveerde op een onderwerp uit de vastestoffysica.

Van 1988 tot 2016 werkte hij op het Amsterdamse technologiecentrum van Shell (thans STCA). Achtereenvolgens werkte hij op het gebied katalyse van olieconversieprocessen, reactorengineering en gasprocesstechnologie. Vanaf 2000 verschoof zijn aandacht naar alternatieve brandstoffen (o.a. waterstof) en technology assessment van hernieuwbare energie. Van 2010 tot 2016 was hij Manager Energy Futures en als zodanig verantwoordelijk voor technology assessment van nieuwe energieopties. In die tijd werkte hij nauw samen met Shell's Scenarios Team.

Naast zijn werk bij Shell was Gert Jan van 1998 tot 2010 deeltijdhoogleraar aan de Technische Universiteit Eindhoven en, van 2010 tot 2016, aan het Centrum voor Milieukunde van de Universiteit Leiden.

Sinds mei 2016 is hij hoogleraar Duurzame Energievoorziening aan het Copernicus Instituut voor Duurzame Ontwikkeling aan de Universiteit Utrecht. Zijn interessegebied is de energietransitie als technisch en sociotechnisch fenomeen. Zijn huidige onderzoeksthema's zijn (1) *ex ante* assessment van toekomstige energietechnologieën, met speciale interesse in de rol van koolstof in het toekomstig energiesysteem, (2) agent-gebaseerde modellering van de energietransitie, en (3) de Nederlandse energietransitie, met speciale aandacht voor de transformatie van de Nederlandse industrie.

Hij verzorgt onder andere de cursus Sustainable Energy Supply binnen de bacheloropleiding Global Sustainability Science.



Prof. dr. Martin Junginger is per 1 maart 2016 benoemd tot hoogleraar Bio-Based Economy aan de faculteit Geowetenschappen.

Prof. dr. Gert Jan Kramer is per 1 mei 2016 benoemd tot hoogleraar Duurzame Energievoorziening aan de faculteit Geowetenschappen.

In deze uitgave zijn de oraties gebundeld, die zij beiden op 8 september 2017 uitspraken.