

ZO ZIT DE WERELD IN ELKAAR

VACLAV SMIL

ZO ZIT DE
WERELD IN
ELKAAR

WAT DE WETENSCHAP ONS LEERT
OVER HET VERLEDEN,
HET HEDEN EN DE TOEKOMST

Vertaald door Joost Pollmann
en Koos Mebius

Nieuw Amsterdam

Oorspronkelijke titel *How the World Really Works*.

Penguin Random House UK

© 2022 Vaclav Smil

© 2022 Nederlandse vertaling Joost Pollmann en

Koos Mebius / Uitgeverij Nieuw Amsterdam

Alle rechten voorbehouden

Omslagontwerp Philip Stroomberg

Foto auteur © Andreas Laszlo Konrath

NUR 740

ISBN 978 90 468 2768 0

www.nieuwamsterdam.nl



Inhoud

Inleiding: Waarom is dit boek nodig?	7		
1	Energie: Brandstoffen en elektriciteit	21	
2	Voedsel: Fossiele brandstof eten	62	
3	Onze materiële wereld: De vier pijlers van de moderne beschaving	104	
4	Globalisering: Motoren, microchips en meer	139	
5	Risico's: Van virussen tot diëten en zonnevlammen	180	
6	Het milieu: De enige biosfeer die we hebben	227	
7	De toekomst: Tussen apocalyps en singulariteit	279	
Appendix: Getallen: Orden van grootte			311
Verwijzingen en noten			317
Verantwoording			395
Register			397

Inleiding

Waarom is dit boek nodig?

Ieder tijdperk wil uniek zijn, maar ook al hebben de vorige drie generaties, dat wil zeggen sinds het einde van de Tweede Wereldoorlog, misschien minder fundamentele veranderingen meegeemaakt dan de drie generaties voorafgaand aan de Eerste Wereldoorlog, het heeft aan ongekende gebeurtenissen en vernieuwingen bepaald niet ontbroken. Voorop staat dat meer mensen nu een hogere levensstandaard hebben, dat ze langer leven en gezonder zijn dan ooit tevoren in de geschiedenis. Maar deze zegeningen zijn weggelegd voor een minderheid (slechts een vijfde deel, ongeveer) van de wereldbevolking, die een omvang nadert van 8 miljard mensen.

Een tweede verworvenheid die respect afdwingt is de ongeëvenaarde uitbreiding van ons begrip van de fysieke wereld en van alle levensvormen. Onze kennis strekt zich uit van veelomvattende theorieën over complexe systemen op kosmische (sterrenstelsels, sterren) en planetaire schaal (atmosfeer, hydrosfeer, biosfeer), maar ook over processen op het niveau van atomen en genen: de lijnen die worden geëtst in het oppervlak van de sterkste microprocessors zijn slechts twee keer zo dik als de diameter van menselijk DNA. We hebben deze inzichten vertaald naar een nog altijd uitdijend domein van machines, apparaten, procedures, protocollen en ingrepen die de moderne beschaving overeind

houden. De enorme omvang van onze totale kennis, en de manieren waarop we die toepassen, gaan het begrip van het individuele verstand ver te boven.

In 1500 kon je op de Piazza della Signoria in Florence nog een echte homo universalis tegenkomen, maar dat duurde niet lang meer. Halverwege de 18e eeuw verzamelden de twee Franse geleerden Denis Diderot en Jean le Rond d'Alembert een groep ontwikkelde personen om zich heen om de wetenschap van hun tijd samen te vatten in de tamelijk uitputtende lemma's van hun meerdelige *Encyclopédie, ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*. Een paar generaties later was de omvang en het specialistische karakter van onze kennis al enkele orden van grootte toegenomen, met fundamentele ontdekkingen die varieerden van inductie (door Michael Faraday in 1831, waar de opwekking van elektriciteit op is gebaseerd) tot het metabolisme van planten (door Justus von Liebig in 1840, waarop het gebruik van kunstmest is gebaseerd) en theorieën over elektromagnetisme (door James Clerk Maxwell in 1861, waarop alle draadloze communicatie is gebaseerd).

In 1872, een eeuw na de publicatie van het laatste deel van de *Encyclopédie*, moest elk kennisoverzicht al beperkt blijven tot een oppervlakkige behandeling van een snelgroeiend aantal onderwerpen, en anderhalve eeuw later is het onmogelijk geworden om zelfs binnen nauw omschreven specialisaties een complete samenvatting van onze inzichten te geven. Begrippen als 'natuurkunde' of 'biologie' zijn betrekkelijk nietszeggend, en deskundigen op het gebied van de deeltjesfysica zouden het heel moeilijk vinden om zelfs de eerste bladzijde van een nieuwe studie over virale immunologie te begrijpen. Door de fragmentarisering van alle kennis is de beleidsvorming er natuurlijk niet eenvoudiger op geworden. De hooggespecialiseerde takken van moderne wetenschap zijn zo ondoorzichtig geworden dat de mensen die daarin

werkzaam zijn, noodgedwongen tot hun dertigste of langer door moeten studeren tot ze kunnen toetreden tot de nieuwe geestelijkheid.

Een lange leertijd hebben ze allemaal, maar dat betekent nog niet dat ze het altijd eens zijn over de beste aanpak. De SARS-CoV-2-pandemie heeft duidelijk gemaakt dat de onenigheid onder experts zich zelfs kan uitstrekken tot schijnbaar simpele beslissingen, zoals over het gebruik van een mondkapje. Eind maart 2020 (de pandemie was drie maanden oud) adviseerde de Wereldgezondheidsorganisatie daar nog tegen, tenzij een persoon was besmet, en pas begin juni werd dat advies bijgesteld. Hoe kunnen mensen zonder specialistische kennis daarin partij kiezen of wijs worden uit debatten die vaak eindigen met het intrekken of ontmantelen van claims die daarvoor nog allesbepalend waren?

Ondanks zulke onzekerheden en discussies hoeven we er niet in te berusten dat zoveel mensen een verkeerd idee hebben van de basale mechanismen van de moderne wereld. Tenslotte is enige kennis van hoe tarwe wordt verbouwd (hoofdstuk 2) of hoe staal wordt gemaakt (hoofdstuk 3) of je realiseren dat globalisering niet nieuw of onvermijdelijk is (hoofdstuk 4), niet hetzelfde als verlangen dat je iets snapt van femtochemie (de bestudering van chemische reacties op een tijdschaal van 10^{-15} seconden, Ahmed Zewail, Nobelprijs in 1999) of de polymerase-kettingreactie (het snel kopiëren van DNA, Kary Mullis, Nobelprijs in 1993).

Waarom hebben de meeste mensen in moderne samenlevingen zo'n oppervlakkig beeld van hoe de wereld echt in elkaar zit? De complexiteit van de moderne wereld is een voor de hand liggende verklaring: mensen zijn continu in de weer met zwarte dozen die tamelijk simpele resultaten geven en weinig tot geen begrip verlangen van wat er binnen in zo'n zwarte doos gebeurt. Dit geldt zowel voor alomtegenwoordige apparaten als mobiele telefoons en laptops (een eenvoudige zoekopdracht intikken vol-

staat) als voor grootschalige procedures zoals vaccinatie (in 2021 werd daarvan mondiaal het beste voorbeeld gegeven, waarbij het oprollen van je mouw het enige was wat je ervan hoefde te snappen). Maar verklaringen van dit gebrek aan begrip gaan voorbij aan het feit dat het leeuwendeel van ons soort kennis om specialisatie vraagt, wat gepaard gaat met een steeds oppervlakkiger begrip van of zelfs onwetendheid over de basisprincipes.

Verstedelijking en mechanisering zijn twee belangrijke oorzaken van dit kennistekort. Sinds het jaar 2007 woont meer dan de helft van de wereldbevolking in steden (meer dan 80 procent in alle welvarende landen), en in tegenstelling tot de industriesteden van de 19e en vroege 20e eeuw vind je banen in moderne stedelijke gebieden vooral in de dienstensector. De meeste stedelingen zijn daardoor niet alleen losgekoppeld van de manieren waarop we ons voedsel verbouwen, maar ook van de manieren waarop we onze machines en apparaten bouwen, en de toenemende mechanisering van alle productieve activiteit betekent dat nog maar een heel klein deel van de wereldbevolking betrokken is bij de levering van de energie die nodig is voor onze beschaving en van de materialen waaruit onze moderne wereld is opgebouwd.

In Amerika zijn nog maar zo'n 3 miljoen mannen en vrouwen (boeren en hun personeel) rechtstreeks betrokken bij de productie van voedsel: mensen die daadwerkelijk de akkers omploegen, zaad in de grond stoppen, mest opbrengen, onkruid wieden, gewassen oogsten (fruit plukken en groenten snijden vormen het meest arbeidsintensieve deel van het proces) en dieren verzorgen. Dat is minder dan 1 procent van de nationale bevolking en dus is het geen wonder dat de meeste Amerikanen geen idee hebben, of hoogstens een flauwe notie, van waar hun brood en lapjes vlees vandaan komen. Combines oogsten tarwe, maar kun je er ook sojabonen of linzen mee oogsten? Hoelang duurt het voor een biggetje een varkenskarbonade is: weken of jaren? De grote meerder-

heid van de Amerikanen weet het gewoon niet, en ze zijn in goed gezelschap. China is de grootste staalproducent ter wereld en jaarlijks wordt er bijna een miljard ton gesmolten, gegoten en gewalst, maar dit wordt gedaan door nog geen 0,25 procent van China's 1,4 miljard inwoners. Alleen een piepklein percentage van de Chinese bevolking zal ooit dicht bij een hoogoven staan, of de rode linten van heet staal door de gieterij zien bewegen. En deze ont koppeling zie je overal ter wereld.

De andere grote oorzaak van het beperkte en slinkende begrip van de fundamentele processen die nodig zijn voor de productie van energie (als voedsel of als brandstoffen) en duurzame materialen (metalen, niet-metaalhoudende mineralen of beton) is dat ze worden beschouwd als gedateerd of zelfs ouderwets, en lang niet zo spannend als de wereld van informatie, data en beelden. De spreekwoordelijke knappe koppen studeren niet op grondverbetering en zijn niet op zoek naar sterker cement; ze zijn veel liever bezig met onstoffelijke informatie, met elektronische stromen in ontelbare micro-apparaten. Van advocaten en economen tot programmeurs en financiële managers, hun disproportioneel hoge salarissen krijgen ze voor werk dat heel ver af staat van de materiële realiteit van het leven op aarde.

Sterker nog, veel van deze data-aanbidders zijn gaan denken dat hun elektronica die rare oude grondstoffen overbodig zal maken. De akkers zullen plaatsmaken voor stadslandbouw op hoge flats en synthetische producten zullen de noodzaak om voedsel te verbouwen op den duur doen verdwijnen. Dematerialisering, mogelijk gemaakt door kunstmatige intelligentie, zal een eind maken aan onze afhankelijkheid van gegoten massa's metaal en bewerkte mineralen, en ten slotte kunnen we zelfs zonder het aardse milieu: wie heeft dat nog nodig als we Mars koloniseren? Natuurlijk zijn dit allemaal volstrekt voorbarige aannames, fantasieën die worden gekoesterd door een samenleving waar nepnieuws gewoon is

geworden en waar feit en fictie zo met elkaar zijn verstrengeld dat goedgebouwde geesten, ontvankelijk voor modieuze denkbeelden, ideeën aanhangen die critici in het verleden zouden hebben afge-serveerd als bedenkelijk of domweg krankzinnig.

Geen van de mensen die dit boek leest zal verhuizen naar Mars; we zullen allemaal graanproducten blijven eten die zijn geteeld in aarde op grote stukken landbouwgrond, en niet boven op wolkenkrabbers in de visioenen van mensen die de zogeheten stadslandbouw propageren; niemand van ons zal in een gedematerialiseerde wereld leven waar geen plaats is voor on-ervangbare natuurlijke processen zoals het verdampen van water of het bestuiven van planten. Maar de aanvoer van deze essentiële zaken zal een steeds grotere uitdaging worden, omdat het merendeel van de wereldbevolking in omstandigheden leeft die de welvarende minderheid al generaties terug achter zich heeft gelaten, en omdat de groeiende vraag naar energie en grondstoffen de biosfeer in korte tijd zo zwaar heeft belast dat we zijn vermogen hebben aangetast om ook op de lange termijn aan de vraag te voldoen.

Om één veelzeggende vergelijking te geven: in 2020 was het gemiddelde jaarlijkse energieverbruik per persoon bij circa 40 procent van de wereldbevolking (3,1 miljard mensen, waaronder bijna alle volken in Afrika ten zuiden van de Sahara) niet hoger dan dat van Duitsland en Frankrijk samen in 1860! Om in de buurt te komen van een levensstandaard die je menswaardig kunt noemen, moeten die 3,1 miljard mensen hun energieverbruik op zijn minst verdubbelen, en liefst verdrievoudigen, de stroomaanvoer opschroeven, hun voedselproductie verhogen en bouwen aan de essentiële infrastructuur voor verstedelijking, industrie en transport. Het is onontkoombaar dat deze eisen de biosfeer verder aan zullen tasten.

En hoe zullen we omgaan met de voortschrijdende klimaatver-

andering? Er is nu een breed gedragen consensus dat we *iets* moeten doen ter voorkoming van veel hoogst onwenselijke gevolgen, maar wat moeten we precies doen en welke gedragsverandering zal het beste werken? Voor degenen die negeren wat onze wereld nodig heeft aan energie en grondstoffen, degenen die aan mantra's over groene oplossingen de voorkeur geven boven het begrijpen van hoe het zo ver heeft kunnen komen, is het recept simpel: decarboniseren, van het verbranden van fossiele koolstof overstappen op onuitputtelijke stromen hernieuwbare energie. Maar er is één reëel probleem: we zijn een door fossiele brandstoffen aangedreven beschaving waarvan de technische en wetenschappelijke vooruitgang, de kwaliteit van leven en de welvaart berusten op de verbranding van enorme hoeveelheden fossiele koolstof, en we kunnen niet zomaar binnen een paar decennia, laat staan binnen enkele jaren, afscheid nemen van deze dominante leverancier van onze rijkdom.

Volledige decarbonisatie van de wereldeconomie in 2050 zou nu alleen haalbaar zijn ten koste van een ondenkbare neergang van de wereldeconomie, of als resultaat van razendsnelle veranderingen die berusten op welhaast miraculeuze technologische innovaties. Maar wie zet vrijwillig zo'n recessie in gang zolang we nog niet beschikken over een overtuigende, praktische en betaalbare mondiale strategie of over de technische middelen om die transformatie mogelijk te maken? Wat zal er echt gebeuren? De kloof tussen wishful thinking en werkelijkheid is enorm, maar in een democratische samenleving kan een ideeënstrijd alleen worden gevoerd met rationele argumenten, waarbij de betrokken partijen het in ieder geval eens worden over een minimum aan relevante informatie over de reële wereld, in plaats van hun vooroordelen uit te venten en oplossingen aan te dragen die ver van de fysieke mogelijkheden af staan.

Dit boek is een poging om het gebrek aan begrip te verkleinen, om iets uit te leggen over de meest fundamentele wetten die bepalend zijn voor ons welzijn en onze welvaart. Ik ben er niet op uit om voorspellingen te doen, of om verbluffende of deprimeerende scenario's te schetsen van wat ons te wachten staat. Het is niet nodig om bij te dragen aan dit populaire, maar telkens falende genre: op de lange termijn zijn er te veel onverwachte ontwikkelingen en te veel complexe interacties, waarop geen enkel individu of collectief kan anticiperen. Ik wil ook geen specifieke (vooringenomen) interpretaties van de werkelijkheid propageren, als bron van wanhoop of van grenzeloze verwachtingen. Ik ben pessimist noch optimist, ik ben een wetenschapper die probeert uit te leggen hoe de wereld werkelijk in elkaar zit, en ik zal dat inzicht gebruiken om ons meer besef bij te brengen van onze beperkingen en kansen in de toekomst.

Een boek als dit is onvermijdelijk selectief, maar elk van de zeven hoofdthema's die zijn uitgekozen om nader bekeken te worden, is van existentieel belang: er zijn bij het indelen van de hoofdstukken geen lichtzinnige keuzes gemaakt. Het eerste hoofdstuk van dit boek laat zien hoe onze samenlevingen hun hoge energieverbruik steeds verder hebben opgedreven, door hun afhankelijkheid van fossiele brandstoffen in het algemeen en van elektriciteit, de meeste flexibele vorm van energie, in het bijzonder. Kennis van deze feiten kan dienstdoen als een broodnodige correctie van de veelgehoorde claim (gebaseerd op onvoldoende begrip van complexe realiteiten) dat we het wereldwijde energieverbruik vlotjes kunnen decarboniseren, en dat het maar twee of drie decennia zal duren voordat we geheel op bronnen van hernieuwbare energie kunnen vertrouwen. Intussen gaat een groeiend aandeel van de elektriciteitsopwekking naar de nieuwe energieleveranciers (zou en wind, want waterkrachtcentrales bestaan al veel langer) en het wordt een steeds grotere uitdaging om meer elektrische auto's op de weg te krijgen en

om het vrachtvervoer en de lucht- en scheepvaart groener te maken, waarbij onmisbare materialen moeten worden geproduceerd zonder gebruik te maken van fossiele brandstoffen.

Het tweede hoofdstuk van dit boek gaat over de meest basale noodzaak om te overleven: het produceren van voedsel. Het laat zien hoezeer alle dingen die we tot ons nemen voor ons voortbestaan, van tarwe tot tomaten en garnalen, één ding gemeen hebben: er is een substantiële aanvoer van fossiele brandstof voor nodig, direct of indirect. Inzicht in deze fundamentele afhankelijkheid van fossiele brandstoffen leidt tot een realistisch begrip van onze blijvende behoefte aan fossiele koolstof: het is eigenlijk eenvoudiger om elektriciteit op te wekken met windturbines en zonnecellen dan met het verbranden van kolen of gas, maar het zou veel moeilijker zijn om alle landbouwmachines te laten draaien zonder vloeibare fossiele brandstoffen en om kunstmest en andere landbouwchemicaliën te produceren zonder aardgas en olie. Het zal kortom nog decennialang onmogelijk zijn om de planeet adequaat te voeden zonder gebruik te maken van fossiele brandstoffen als bronnen van energie en ruwe grondstoffen.

Het derde hoofdstuk legt uit hoe en waarom onze samenlevingen worden gefaciliteerd door materialen die zijn voortkomen uit de vindingrijkheid van de mens en die ik de vier pijlers van de moderne beschaving noem: ammoniak, staal, beton en kunststoffen. Een beter begrip van deze feiten toont het misleidende karakter aan van actuele en modieuze claims over de dematerialisatie van moderne economieën dankzij de dienstensector en geminiaturiseerde elektronische apparaten. De relatieve afname van de grondstofbehoefte per eenheid gefabriceerde eindproducten is een van de belangrijkste trends geweest in de moderne industriële ontwikkeling. Maar in absolute getallen is de grondstofbehoefte ook in de meest welvarende landen alleen maar toegenomen, terwijl die juist ver onder het verzadigingsniveau blijft

in lagelonenlanden waar het bezit van een goed gebouwd appartement, keukenapparatuur en airconditioning (om nog maar te zwijgen van auto's) voor miljoenen mensen een droom blijft.

Het vierde hoofdstuk vertelt het verhaal van de globalisering, van hoe de wereld door transport en communicatie zo nauw verweven is geraakt. Dit historische perspectief laat zien hoe oud (en zelfs antiek) de oorsprong is van deze processen, en hoe recent de huidige, en daadwerkelijk globale, omvang ervan is. En een nadere bestudering maakt duidelijk dat er niets onvermijdelijks is aan het toekomstige verloop van dit met gemengde gevoelens (veel geprezen, veel bevroegd, veel bekritiseerd) bekeken fenomeen. De laatste tijd wordt er op diverse plaatsen in de wereld afstand van genomen en neigt men meer naar populisme en nationalisme, maar het is nog niet duidelijk hoe dit zich zal ontwikkelen en in welke mate het zal leiden tot veranderingen in het denken over economie, veiligheid en politiek.

Het vijfde hoofdstuk biedt een realistisch raamwerk om in te schatten welke gevaren wij lopen: moderne samenlevingen zijn erin geslaagd om voorheen dodelijke of verminkende risico's, bijvoorbeeld bij polio en bevallingen, te elimineren of te beperken, maar sommige gevaren zullen altijd blijven. Vaak lukt het niet om een correcte risicobeoordeling te maken, door het onderschatten of juist overschatten van de gevaren die we lopen. De lezer heeft na dit hoofdstuk een goed beeld van de relatieve risico's die vrijwillige of onvrijwillige handelingen met zich meebrengen (van ongelukjes thuis tot intercontinentaal vliegen; van wonen in een streek met veel stormen tot parachutespringen). En om een weerwoord te bieden aan de onzin van de dieetindustrie bespreken we wat je zoal kunt eten om langer te leven.

Het zesde hoofdstuk bekijkt eerst hoe de voortgaande milieubelasting van invloed is op drie existentiële levensvoorwaarden: zuurstof, water en voedsel. De rest van het hoofdstuk richt zich

op de opwarming van de aarde, een ontwikkeling die het milieudebat sinds enkele jaren domineert en heeft geleid tot de opkomst van nieuwe, bijna apocalyptische ondergangstheorieën aan de ene kant, en totale ontkenning van het proces aan de andere kant. In plaats van deze tegengestelde benaderingen nog eens te beschrijven en te beoordelen (dat gebeurt al in veel te veel boeken), zal ik benadrukken dat het hier niet gaat om een pas ontdekt fenomeen, zoals veel mensen denken: we begrijpen de onderliggende factoren van dit proces al meer dan 150 jaar.

Bovendien zijn we ons al meer dan een eeuw bewust van de werkelijke mate van opwarming die wordt geassocieerd met de verdubbeling van de hoeveelheid CO₂ in de atmosfeer. Ruim een halve eeuw terug zijn we al gewaarschuwd voor de ongekende (en onherhaalbare) aard van dit planetaire experiment (de dagelijkse en precieze metingen van CO₂ begonnen in 1958). Maar we hebben ervoor gekozen deze onderzoeken, waarschuwingen en cijfers te negeren. In plaats daarvan hebben we de verbranding van fossiele brandstoffen verveelvoudigd, wat heeft geresulteerd in een afhankelijkheid waar we niet gemakkelijk, vlot en goedkoop vanaf komen. Hoe snel we dit kunnen veranderen is nog niet duidelijk. Voeg hier de andere milieuproblemen aan toe, en je moet concluderen dat de existentiële kernvraag – kan de mensheid haar wensen vervullen binnen de veilige begrenzing van onze biosfeer? – niet makkelijk te beantwoorden is. Maar het is noodzakelijk dat we de feiten goed op een rijtje hebben. Alleen dan kunnen we het probleem effectief aanpakken.

In het laatste hoofdstuk zal ik naar de toekomst kijken, en dan vooral naar de tegengestelde neigingen om óf voor de apocalyptische benadering te kiezen (van hen die beweren dat we nog maar een paar jaar te gaan hebben voordat het doek over onze moderne beschaving valt) óf juist voor de techno-optimistische (van hen die voorspellen dat innovatieve krachten weidse horizonten

zullen openen die de aardse beperkingen ontstijgen en alle problemen van deze planeet reduceren tot irrelevante kwesties). Het zal geen verbazing wekken dat ik tot geen van beide posities geneigd ben en mijn perspectief zal van geen van de twee doctrines bijval krijgen. Ik voorzie in beide kampen geen snelle breuk met de geschiedenis; en ik zie ook nog geen voorspelbare ontwikkelingen, maar eerder een ingewikkeld parcours dat zal afhangen van onze eigen, niet vooringenomen, keuzes.

Dit boek rust op twee pijlers: een ruime hoeveelheid wetenschappelijke inzichten en een halve eeuw van eigen onderzoek en boeken schrijven. Tot het eerste domein behoren zowel klassieke bijdragen en baanbrekende verhandelingen over energieconversie en het broeikas effect vanaf de 19e eeuw, als zeer recente inschattingen van de mondiale bedreigingen en mogelijke risico's. En dit vérrreikende boek zou ik niet hebben kunnen schrijven zonder me tientallen jaren te hebben verdiept in de interdisciplinaire studies waarvan je de neerslag in mijn andere boeken vindt. In plaats van terug te vallen op de aloude vergelijking van vossen en egels (de vos weet veel dingen, maar de egel weet één belangrijk ding), beschouw ik moderne wetenschappers liever als boorders van steeds diepere gaten (nu de belangrijkste weg naar de roem) of verkenners van weidse vergezichten (een snel slinkende groep).

Het boren van het diepst mogelijk gat en de onbetwiste meester zijn van een piepklein stukje hemel dat vanuit dat gat zichtbaar is, heeft mij nooit aangesproken. Ik heb altijd de voorkeur gegeven aan een zo breed mogelijke verkenning binnen de beperkingen van mijn eigen capaciteiten. Mijn leven lang ben ik vooral geïnteresseerd geweest in energie-onderzoek, omdat een bevredigend inzicht in dat enorme vakgebied vereist dat je zowel iets begrijpt van natuurkunde, scheikunde, biologie, geologie en techniek, als van geschiedenis en sociale, economische en politieke factoren.

Bijna de helft van mijn nu bijna veertig (en vooral van de meer academische) boeken gaan over verschillende aspecten van energie, variërend van brede studies binnen de energiewetenschappen door de geschiedenis heen tot een nadere bestudering van afzonderlijke soorten brandstof (olie, aardgas, biomassa) en de specifieke eigenschappen en processen (vermogensdichtheid, energietransities) die daarbij horen. De andere titels verraden mijn interdisciplinaire belangstelling: ik heb geschreven over fundamentele verschijnselen als groei, in al zijn natuurlijke en antropogene vormommingen, en gevaar; over het mondiale milieu (de biosfeer, biochemische cycli, mondiale ecologie, fotosynthetische productiviteit en oogstopbrengt), voedsel en landbouw, grondstoffen (vooral over staal en meststoffen), technische vooruitgang, over de opkomst en neergang van de maakindustrie, maar ook over de antieke Romeinse en de moderne Amerikaanse geschiedenis en over voedsel in Japan.

Onvermijdelijk is dit boek, ontstaan uit mijn levenswerk en bedoeld voor de leek, een continuering van mijn langdurige zoektocht om inzicht te krijgen in de fundamentele realiteiten van de biosfeer, de geschiedenis en de wereld die wij hebben geschapen. En het doet ook, alweer, wat ik al decennialang hardnekkig doe: vurig pleiten voor het wegblijven van extreme standpunten. Hedendaagse aanhangers van zulke posities (die steeds luidruchtiger of steeds frivoler worden) zullen teleurgesteld zijn: je vindt hier geen geklaag over een wereld die in 2030 ten onder gaat of een liefdesverklaring aan de verbijsterend transformatieve krachten van kunstmatige intelligentie die op doorbreken staan. In plaats daarvan probeert dit boek de basis te leggen voor een meer gematigde en noodzakelijk agnostische kijk. Ik hoop dat mijn redelijke en op feiten gebaseerde benadering de lezer zal helpen begrijpen hoe de wereld werkelijk in elkaar zit, en wat onze kansen zijn om komende generaties betere vooruitzichten te bieden.

Maar voordat u in de specifieke thema's duikt, kom ik met een waarschuwing en mogelijk een verzoek. Dit boek staat vol getallen (allemaal metrisch) omdat de realiteit van de moderne wereld niet kan worden begrepen met kwalitatieve beschrijvingen alleen. Veel van de getallen in dit boek zijn, onontkoombaar, heel erg groot of heel erg klein, en zulke eenheden kun je het best behandelen in termen van hun orde van grootte, aangeduid met universeel gebruikte voorvoegsels. Bent u niet vertrouwd met dergelijke dingen, dan kunt u in de appendix zien hoe u grote en kleine getallen moet interpreteren, vandaar dat sommige lezers het handig vinden om achterin aan dit boek te beginnen. Zo niet, dan zie ik u zo meteen in hoofdstuk 1 voor een nadere, kwantitatieve bestudering van energie: een optiek die nooit uit de mode zou mogen raken.