

LIMITS TO GROWTH



The 30-Year Update

DONELLA MEADOWS | JORGEN RANDERS | DENNIS MEADOWS

LIMITS TO GROWTH

The 30-Year Update

DONELLA MEADOWS

JORGEN RANDERS

DENNIS MEADOWS

EARTHSCAN

LONDON • STERLING, VA

First published by Earthscan in the UK in 2005
Reprinted 2006

Copyright © Dennis Meadows, 2004

All rights reserved

ISBN-10: 1-84407-144-8
ISBN-13: 978-1-84407-144-9

Printed and bound in the UK by Bath Press
Cover design by Andrew Corbett

For a full list of publications please contact:

Earthscan
8–12 Camden High Street
London, NW1 0JH, UK
Tel: +44 (0)20 7387 8558
Fax: +44 (0)20 7387 8998
Email: earthinfo@earthscan.co.uk
Web: www.earthscan.co.uk

Earthscan is an imprint of James & James (Science Publishers) Ltd and publishes in association with
the International Institute for Environment and Development

A catalogue record for this book is available from the British Library

Printed on elemental chlorine-free paper

INHOUD-LIJST

	<u>Dankwoord</u>	006
	<u>Voorwoord van de auteurs</u> D. L. Meadows en J. Randers	010
Hfd.- 1	<u>Overschrijding</u> Overshoot	026
Hfd.- 2	<u>De drijvende kracht: Exponentiële groei</u>	042
Hfd.- 3	<u>De grenzen: Bronnen en Putten</u>	076
Hfd.- 4	<u>Wereld3: De dynamiek van groei in een eindige wereld</u>	154
Hfd.- 5	<u>Terug van voorbij de grenzen: Het ozonverhaal</u>	206
Hfd.- 6	<u>Technologie, markten en overschrijding</u>	228
Hfd.- 7	<u>Overgangen naar een duurzaam systeem</u>	260
Hfd.- 8	<u>Hulpmiddelen voor de overgang naar duurzaamheid</u>	290
Bijlagen	<u>1. Veranderingen van World3 naar World3-03</u> – deel	310
	<u>2. Indicatoren van menselijk welzijn en ecologische voetafdruk</u>	314
	Eindnoten	295
	Lijst van tabellen en figuren met bronnen	311
	Index	325

DANKWOORD

In de afgelopen drie decennia hebben veel mensen en organisaties ons geholpen te begrijpen hoe de grenzen aan materiële groei de toekomst van de wereld zullen bepalen. We dragen dit boek op aan drie personen die een fundamentele bijdrage hebben geleverd:

Aurelio Peccei, oprichter van de Club van Rome, wiens diepe bezorgdheid over de wereld en onsterfelijke geloof in de mensheid ons en vele anderen inspireerde om ons te bekommeren om de vooruitzichten voor de toekomst van de mensheid op lange termijn.

Jay W. Forrester, emeritus hoogleraar aan de Sloan School of Management van MIT en onze leermeester. Hij ontwierp het prototype van het computermodel dat we hebben gebruikt en zijn diepgaande systeeminzichten hebben ons geholpen het gedrag van economische en milieusystemen te begrijpen.

Tot slot is het een grote eer om dit boek op te dragen aan de belangrijkste auteur, Donella H. Meadows. Alom bekend als Dana, bij iedereen die haar respecteerd en haar werk waardeerde, was ze een denker, schrijver en sociale vernieuwer van wereldklasse. Haar hoge normen voor communicatie, ethiek en dienstverlening inspireren en dagen ons - en duizenden anderen - nog steeds uit. Veel van de analyses en proza hier zijn van haar, maar dit boek werd voltooid na

Dana's dood in februari 2001. Het is onze bedoeling dat deze uitgave een eerbetoon zal zijn aan haar levenslange inspanningen om de wereldburgers te informeren en hen naar duurzaamheid te leiden.

VOORWOORD VAN DE AUTEURS

Achtergrond

Dit boek – *Limits to Growth: The 30-Year Update* - is de derde editie in een reeks. De eerste tekst verscheen in 1972.^{Q1} In 1992 publiceerden we de herziene editie, *Beyond the Limits* (BTL),^{Q2} waarin we de wereldwijde ontwikkelingen van de eerste 20 jaar in de scenario's van LTG bespraken. Deze 30-jarige update presenteert de essentiële delen van onze oorspronkelijke analyse en vat een aantal relevante gegevens en inzichten samen die we de afgelopen drie decennia hebben verworven.

Het project dat leidde tot LTG vond plaats in de System Dynamics Group van de Sloan School of Management binnen het Massachusetts Institute of Technology (MIT) van 1970 tot 1972. Ons projectteam gebruikte de theorie van de systeemdynamica en computermodellen om de langetermijnoorzaken en gevolgen van de groei van de wereldbevolking en de materiële economie te analyseren. We onderzochten vragen als: Leidt het huidige beleid tot een duurzame toekomst of tot ineenstorting? Wat kan er gedaan worden om een menselijke economie te creëren die iedereen voldoende voorziet?

We kregen de opdracht om deze vragen te onderzoeken van de Club van Rome, een informele, internationale groep van vooraanstaande zakenlieden, staatslieden en wetenschap-

pers. De Volkswagen Foundation in Duitsland zorgde voor de financiering van ons werk.

Dennis Meadows, destijds verbonden aan de faculteit van MIT, stelde het volgende projectteam samen dat twee jaar lang het oorspronkelijke onderzoek uitvoerde.

Alison A. Anderson, PhD (USA)	Erich K.O. Zahn, PhD (Germany)
Ilyas Bayar (Turkey)	Jay M. Anderson, PhD (USA)
Farhad Hakimzadeh (Iran)	William W. Behrens III, PhD (USA)
Judith A. Machen (USA)	Steffen Harbordt, PhD (Germany)
Donella H. Meadows, PhD (USA)	Peter Milling, PhD (Germany)
Nirmala S. Murthy (India)	Roger F. Naill, PhD (USA)
Jorgen Randers, PhD (Norway)	Stephen Schantzis (USA)
John A. Seeger, PhD (USA)	Marilyn Williams (USA)

[011] Een belangrijke basis van ons project was het “World3” computermodel, dat we bouwden om ons te helpen gegevens en theorieën met betrekking tot groei te integreren.^{Q3} Met het model kunnen we scenario's van wereldontwikkeling produceren die intern consistent zijn. In de eerste editie van LTG publiceerden en analyseerden we 12 scenario's van World3 die verschillende mogelijke patronen van wereldontwikkeling lieten zien over de twee eeuwen van 1900 tot 2100. BTL presenteerde 14 scenario's uit een licht bijgewerkte versie van World3.

LTG werd een bestseller in verschillende landen en werd uiteindelijk in ongeveer 30 talen vertaald. BTL verscheen in veel talen en wordt veel gebruikt als universitaire tekst.

1972: De grenzen aan de groei

De Grenzen aan de Groei (LTG) meldde dat wereldwijde ecologische beperkingen (gerelateerd aan het gebruik van hulpbronnen en emissies) een significante invloed zouden hebben op wereldwijde ontwikkelingen in de eenentwintigste eeuw. LTG waarschuwde dat de mensheid mogelijk veel kapitaal en mankracht zou moeten inzetten om deze beperkingen te bestrijden - mogelijk zo veel dat de gemiddelde levenskwaliteit ergens in de eenentwintigste eeuw zou afnemen. Ons boek specificeerde niet precies welke grondstoffschaarste of welk type emissie een einde zou kunnen maken aan de groei door meer kapitaal nodig te hebben dan beschikbaar was - simpelweg omdat zulke gedetailleerde voorspellingen niet op wetenschappelijke basis kunnen worden gedaan in het enorme en complexe bevolkings-, economie- en milieusysteem waaruit onze wereld bestaat.

LTG pleitte voor diepgaande, proactieve, maatschappelijke innovatie door technologische, culturele en institutionele verandering om te voorkomen dat de ecologische voetafdruk van de mensheid groter zou worden dan de draagkracht van de planeet Aarde. Hoewel de mondiale uitdaging als ernstig werd gepresenteerd, was de toon van LTG optimistisch, waarbij keer op keer werd benadrukt hoezeer men de schade die wordt veroorzaakt door het naderen (of overschrijden) van mondiale ecologische grenzen zou kunnen beperken als er vroegtijdig actie werd ondernomen.

De 12 World3 scenario's in LTG illustreren hoe de groei van de bevolking en het gebruik van natuurlijke hulpbronnen in wisselwerking staat met een verscheidenheid aan limieten.

In werkelijkheid komen grenzen aan de groei in vele vormen voor. [012] In onze analyse hebben we ons voornamelijk gericht op de fysieke grenzen van de planeet, in de vorm van uitputbare natuurlijke hulpbronnen en de eindige capaciteit van de aarde om emissies van industrie en landbouw te absorberen. In elk realistisch scenario stelden we vast dat deze grenzen ergens in de eenentwintigste eeuw een einde aan de fysieke groei in de wereld3 afdwingen.

Onze analyse voorzag geen abrupte grenzen - de ene dag niet aanwezig, de volgende dag volledig bindend. In onze scenario's dwingt de expansie van bevolking en fysiek kapitaal de mensheid geleidelijk om steeds meer kapitaal aan te wenden om het hoofd te bieden aan de problemen die voortkomen uit een combinatie van beperkingen. Uiteindelijk wordt er zoveel kapitaal gebruikt om deze problemen op te lossen dat het onmogelijk wordt om de industriële productie verder te laten groeien. Wanneer de industrie afneemt, kan de samenleving niet langer een steeds grotere productie in de andere economische sectoren ondersteunen: voedsel, diensten en andere consumptie. Wanneer deze sectoren stoppen met groeien, stopt ook de bevolkingsgroei.

Het einde van de groei kan vele vormen aannemen. Het kan zich voordoen als een ineenstorting: een ongecontroleerde afname van zowel de bevolking als het menselijk welzijn. De scenario's van World3 laten zo'n ineenstorting door verschillende oorzaken zien. Het einde van de groei kan zich ook voordoen als een soepele aanpassing van de menselijke voetafdruk aan de draagkracht van de aarde. Door grote veranderingen in het huidige beleid op te geven, kunnen we er-

voor zorgen dat World3 scenario's genereert met een ordelijk einde van de groei, gevolgd door een lange periode van relatief hoog menselijk welzijn.

Het einde van de groei

Het einde van de groei, in welke vorm dan ook, leek ons in 1972 nog heel ver weg. Alle World3 scenario's in LTG lieten een groei van bevolking en economie zien tot ver na het jaar 2000. Zelfs in het meest pessimistische LTG-scenario bleef de materiële levensstandaard tot 2015 stijgen. LTG plaatste het einde van de groei dus bijna 50 jaar na de publicatie van het boek. Dat leek tijd genoeg voor overleg, keuzes en corrigerende maatregelen - zelfs op mondiaal niveau.

Toen we LTG schreven hoopten we dat zo'n afweging de maatschappij zou leiden tot corrigerende maatregelen om de kans op instorting te verkleinen. **Ineenstorting is geen aantrekkelijke toekomst.** De snelle afname van de bevolking en de economie tot niveaus die door de natuurlijke systemen van de aarde kunnen worden gedragen, zal ongetwijfeld gepaard gaan met een falende gezondheid, conflicten, ecologische verwoesting en grove ongelijkheid. [013] Een ongecontroleerde ineenstorting van de menselijke voetafdruk zal het gevolg zijn van een snelle stijging van het sterftcijfer en een snelle daling van de consumptie. Met de juiste keuzes en maatregelen kan een dergelijke ongecontroleerde afname worden voorkomen; een overschrijding kan in plaats daarvan worden opgelost door een bewuste inspanning om de eisen van de mensheid aan de planeet te verminderen. In dit laatste geval zou een geleidelijke neerwaartse aanpassing

van de voetafdruk het resultaat zijn van succesvolle inspanningen om de vruchtbaarheid te verminderen en van een eerlijkere verdeling van het duurzame tempo van materiële consumptie.

Het is de moeite waard te herhalen dat groei niet noodzakelijkerwijs tot instorting leidt. Ineenstorting volgt alleen op groei als de groei heeft geleid tot een overschrijding, tot een toename van de vraag naar de bronnen van de planeet en tot putten boven het niveau dat kan worden volgehouden. In 1972 leken de bevolking en de economie van de mensheid nog steeds ruim onder de draagkracht van de planeet te zitten. We dachten dat er nog ruimte was om veilig te groeien terwijl we opties voor de langere termijn onderzochten. Dat was misschien waar in 1972, maar in 1992 niet meer.

1992: Voorbij de grenzen

In 1992 hebben we onze oorspronkelijke studie voor 20 jaar bijgewerkt en de resultaten gepubliceerd in *Beyond the Limits*. In BTL bestudeerden we de wereldwijde ontwikkelingen tussen 1970 en 1990 en gebruikten we deze informatie om de LTG en het World3 computermodel bij te werken. BTL herhaalde de oorspronkelijke boodschap; in 1992 concludeerden we dat twee decennia geschiedenis grotendeels de conclusies ondersteunden die we 20 jaar eerder naar voren hadden gebracht. Maar het boek uit 1992 bevatte één belangrijke nieuwe bevinding. We suggereerden in BTL dat de mensheid de grenzen van de draagkracht van de aarde al had overschreden. Dit feit was zo belangrijk dat we ervoor kozen om het in de titel van het boek weer te geven.

Al in het begin van de jaren negentig waren er steeds meer aanwijzingen dat de mensheid zich verder in een onhoudbaar gebied begaf. Er werd bijvoorbeeld gemeld dat de regenwouden in een onhoudbaar tempo werden gekapt; er werd gespeculeerd dat de graanproductie de bevolkingsgroei niet langer kon bijhouden; sommigen dachten dat het klimaat aan het opwarmen was; en er was bezorgdheid over het recente ontstaan van een gat in de stratosfeer. Maar voor de meeste mensen was dit nog geen bewijs dat de mensheid de draagkracht van het globale milieu had overschreden. [014] Wij waren het daar niet mee eens. Naar onze mening kon overschrijding begin jaren negentig niet langer worden voorkomen door verstandig beleid; het was al een realiteit. De belangrijkste taak was geworden om de wereld terug te brengen naar een duurzaam gebied. Toch behield BTL een optimistische toon, door in talloze scenario's aan te tonen hoezeer de schade van overschrijding kon worden beperkt door verstandig mondiaal beleid, veranderingen in technologie en instellingen, politieke doelen en persoonlijke aspiraties.

BTL werd gepubliceerd in 1992, het jaar van de wereldtop over milieu en ontwikkeling in *Rio de Janeiro*. De komst van de top leek te bewijzen dat de wereldwijde samenleving eindelijk had besloten om de belangrijke milieuproblemen serieus aan te pakken.

Maar we weten nu dat de mensheid de doelen van Rio niet heeft gehaald. De Rio + 10 conferentie in Johannesburg in 2002 leverde nog minder op; ze werd bijna verlamd door een verscheidenheid aan ideologische en economische ge-

schillen, door de inspanningen van degenen die hun bekrompen nationale, bedrijfs- of individuele eigenbelangen nastreefden.^{Q4}

1970 - 2000: Groei van de menselijke voetafdruk

In de afgelopen 30 jaar hebben zich veel positieve ontwikkelingen voorgedaan. Als antwoord op een steeds groter wordende menselijke voetafdruk heeft de wereld nieuwe technologieën geïmplementeerd, consumenten hebben hun koopgedrag veranderd, nieuwe instellingen zijn opgericht en multinationale overeenkomsten zijn opgesteld. In sommige regio's is de voedsel-, energie- en industriële productie veel sneller gegroeid dan de bevolking. In die regio's zijn de meeste mensen rijker geworden. De bevolkingsgroei is afgenomen als gevolg van het hogere inkomensniveau. Het milieubewustzijn is tegenwoordig veel groter dan in 1970. In de meeste landen zijn er ministeries van milieuzaken en milieu-educatie is gemeengoed. De meeste vervuiling is verdwenen uit de schoorstenen en afvoerpijpen van fabrieken in de rijke wereld en toonaangevende bedrijven dringen met succes aan op een steeds hogere eco-efficiëntie.

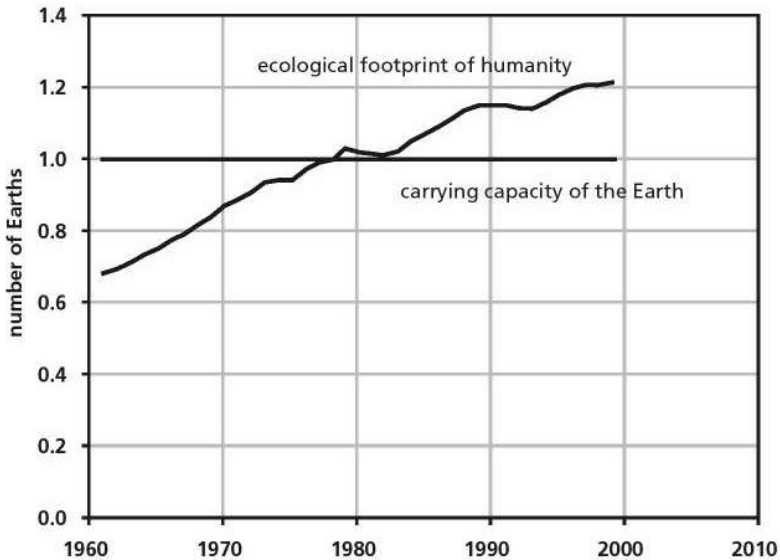
Deze ogenschijnlijke successen maakten het moeilijk om rond 1990 over problemen van overschrijding te praten. De moeilijkheid werd nog vergroot door het gebrek aan basisgegevens en zelfs elementaire woordenschat met betrekking tot overschrijding. Het duurde meer dan twee decennia voordat het conceptuele kader - bijvoorbeeld het onderscheid tussen groei van het Bruto Binnenlands Product

(BBP) en groei van de ecologische voetafdruk - volwassen genoeg was om een intelligent gesprek over de kwestie van de grenzen aan de groei mogelijk te maken. [015] En de wereldgemeenschap probeert nog steeds het begrip *duurzaamheid* te begrijpen, een term die ambigu blijft en op grote schaal misbruikt wordt, zelfs zestien jaar nadat de Brundtland Commissie het bedacht.^{Q5}

Het afgelopen decennium heeft veel gegevens opgeleverd die onze suggestie in BTL ondersteunen dat de wereld zich in een overschrijdingsmodus bevindt. Het lijkt er nu op dat de wereldwijde graanproductie per hoofd van de bevolking halverwege de jaren tachtig een hoogtepunt bereikte. De vooruitzichten voor een significante groei in de oogst van zeevis zijn verdwenen. De kosten van natuurrampen nemen toe en er is een toenemende intensiteit, zelfs een conflict, in de pogingen om zoetwaterbronnen en fossiele brandstoffen toe te wijzen aan concurrerende eisen. De Verenigde Staten en andere grote landen blijven hun uitstoot van broeikasgasen verhogen, ook al wijzen wetenschappelijke consensus en meteorologische gegevens erop dat het mondiale klimaat verandert door menselijke activiteit. Vierenvijftig landen, met 12 procent van de wereldbevolking, hebben in de periode van 1990 tot 2001 meer dan een decennium lang een daling van het BBP per hoofd van de bevolking gekend.^{Q6}

Het afgelopen decennium zorgde ook voor een nieuwe woordenschat en nieuwe kwantitatieve maatstaven om overshoot te bespreken. Mathis Wackernagel en zijn collega's maten bijvoorbeeld de **ecologische voetafdruk** van de mensheid en vergeleken die met de “draagkracht” van de

planeet.^{Q7}



FIGUUR P-1 Ecologische voetafdruk versus draagvermogen

Deze grafiek(en) toont het aantal aardes dat nodig is om te voorzien in de hulpbronnen die door de mensheid worden gebruikt en om hun emissies te absorberen voor elk jaar sinds 1960. Deze menselijke vraag wordt vergeleken met de beschikbare voorraad: onze ene planeet Aarde. De menselijke vraag overstijgt het aanbod van de natuur vanaf de jaren tachtig, met een overschrijding van ongeveer 20 procent in 1999. (Bron: M. Wackernagel et al. en extra grafiek NOS.nl)

Ze definieerden de ecologische voetafdruk als het landoppervlak dat nodig zou zijn om de grondstoffen (graan, veevoer, hout, vis en stedelijke grond) te leveren en de uitstoot (kooldioxide) van de wereldwijde samenleving te absorbe-

ren. Bij vergelijking met het beschikbare land concludeerde Wackernagel dat het gebruik van menselijke hulpbronnen momenteel zo'n 20 procent boven de wereldwijde draagkracht ligt (figuur P-1). Op deze manier gemeten bevond de mensheid zich in de jaren 1980 voor het laatst op een duurzaam niveau. Nu heeft de mensheid de draagkracht met zo'n 20 procent overschreden.

Helaas neemt de menselijke ecologische voetafdruk nog steeds toe, ondanks de vooruitgang in technologie en instellingen. Dit is des te ernstiger omdat de mensheid zich al in een niet-duurzaam gebied bevindt. Maar het algemene bewustzijn van deze situatie is hopeloos beperkt. Het zal veel tijd kosten om politieke steun te krijgen voor de veranderingen in individuele waarden en overheidsbeleid die de huidige trends zouden kunnen omkeren en de ecologische voetafdruk terugbrengen tot onder de draagkracht van de planeet op lange termijn.

Wat zal er gebeuren?

De wereldwijde uitdaging kan eenvoudig gesteld worden: Om duurzaamheid te bereiken moet de mensheid het consumptieniveau van de armen in de wereld verhogen en tegelijkertijd de totale ecologische voetafdruk van de mensheid verkleinen. Er moet technologische vooruitgang, persoonlijke verandering en een langere planningshorizon komen. Er moet meer respect, zorg en delen zijn over politieke grenzen heen. Zelfs onder de beste omstandigheden zal het tientallen jaren duren om dit te bereiken. Geen enkele moderne poli-

tieke partij heeft brede steun verzameld voor een dergelijk programma, zeker niet onder de rijken en machtigen, die ruimte zouden kunnen maken voor groei onder de armen door hun eigen voetafdruk te verkleinen. Ondertussen wordt de mondiale voetafdruk met de dag groter.

[017] We zijn dan ook veel pessimistischer over de mondiale toekomst dan we in 1972 waren. Het is een triest feit dat de mensheid de afgelopen 30 jaar grotendeels heeft verspild aan zinloze debatten en goedbedoelde, maar halfslachtige antwoorden op de wereldwijde ecologische uitdaging. We hebben niet nog eens 30 jaar om te treuzelen. Er zal veel moeten veranderen als de voortdurende overschrijding niet gevolgd wil worden door ineenstorting in de eenentwintigste eeuw.

We beloofden Dana Meadows voor haar dood begin 2001 dat we de “30-jarige update” zouden afmaken van het boek waar ze zo van hield. Maar tijdens het proces werden we opnieuw herinnerd aan de grote verschillen tussen de hoop en verwachtingen van de drie auteurs.

Dana was de onophoudelijke optimist. Ze was een zorgzame, meelevende gelovige in de mensheid. Ze baseerde haar hele levenswerk op de aanname dat als ze de mensen maar genoeg van de juiste informatie gaf, ze uiteindelijk zouden kiezen voor de wijze, de vooruitziende, de humane oplossing - in dit geval het aannemen van een mondiaal beleid dat overshoot zou voorkomen (of, als dat niet zou lukken, de wereld terug zou brengen van de rand van de afgrond). Dana heeft haar hele leven aan dit ideaal gewerkt.

Jörgen – Jörgen Randers Noorwegen – is de cynicus. Hij gelooft dat de mensheid kortetermijndoelen van meer consumptie, werkgelegenheid en financiële zekerheid tot het bittere einde zal nastreven en de steeds duidelijkere en sterkere signalen zal negeren tot het te laat is. Hij vindt het triest dat de samenleving vrijwillig afstand zal doen van de prachtige wereld die had kunnen zijn.

Dennis – Dennis Meadows (MIT) USA – zit er tussenin. Hij gelooft dat er uiteindelijk acties zullen worden ondernomen om de ergste mogelijkheden voor een wereldwijde ineenstorting te voorkomen. Hij verwacht dat de wereld uiteindelijk zal kiezen voor een relatief duurzame toekomst, maar alleen nadat ernstige wereldwijde crises te laat actie afdwingen. En de resultaten die na lang uitstel worden bereikt, zullen veel minder aantrekkelijk zijn dan de resultaten die bereikt hadden kunnen worden door eerdere actie. Veel van de prachtige ecologische schatten van de planeet zullen worden vernietigd in het proces; veel aantrekkelijke politieke en economische opties zullen verloren gaan; **er zullen grote en aanhoudende ongelijkheden zijn, toenemende militarisering van de samenleving en wijdverspreide conflicten.**

Het is onmogelijk om deze drie visies te combineren tot één gemeenschappelijk beeld van de meest waarschijnlijke mondiale toekomst. Maar we zijn het wel eens over wat we hopen dat er zou kunnen gebeuren. [018] De veranderingen die we het liefst zouden zien, worden beschreven in een licht bijgewerkte versie van Dana's hoopvolle, afsluitende hoofdstuk van BTL, nu getiteld “Hulpmiddelen voor de overgang

naar duurzaamheid”. De boodschap is dat als we volharden in onze pedagogische inspanningen, de mensen van de wereld steeds meer de juiste weg vooruit zullen kiezen, uit liefde en respect voor hun huidige en toekomstige planetaire metgezellen, menselijk en niet-menselijk. We hopen vurig dat ze dat op tijd zullen doen.

Was Grenzen aan de Groei juist?

Ons wordt vaak gevraagd: “Waren de voorspellingen van *Grenzen aan de Groei* juist?” Merk op dat dit de taal van de media is, niet de onze! We zien ons onderzoek nog steeds als een poging om verschillende mogelijke toekomsten te identificeren. We proberen niet de toekomst te voorspellen. We schetsen alternatieve scenario's voor de mensheid op weg naar 2100. Toch is het nuttig om na te denken over de lessen van de afgelopen 30 jaar. Wat is er gebeurd sinds LTG in maart 1972 verscheen als een dunne paperback van een onbekende uitgever in Washington DC?

In het begin waren de meeste economen, samen met veel industriëlen, politici en voorstanders van de Derde Wereld verontwaardigd over het idee van groeibeperking. Maar uiteindelijk toonden gebeurtenissen aan dat het concept van wereldwijde ecologische beperkingen niet absurd is. Er zijn echt grenzen aan fysieke groei en die hebben een enorme invloed op het succes van het beleid dat we kiezen om onze doelen na te streven. En de geschiedenis suggereert dat de maatschappij een beperkt vermogen heeft om op die grenzen te reageren met wijze, vooruitziende en altruïstische maatregelen die belangrijke spelers op de korte termijn be-

nadelen.

Beperkingen in hulpbronnen en emissies hebben sinds 1972 veel crises veroorzaakt, die de media hebben opgewonden, de aandacht van het publiek hebben getrokken en politici hebben geprikkeld. De daling van de olieproductie in belangrijke landen, het dunner worden van de ozonlaag in de stratosfeer, de stijgende temperatuur op aarde, de wijdverspreide aanhoudende honger, het escalerende debat over de locatie van stortplaatsen voor giftig afval, het dalende grondwaterpeil, verdwijnende diersoorten en terugtrekkende bossen zijn slechts enkele van de problemen die aanleiding hebben gegeven tot grote studies, internationale bijeenkomsten en wereldwijde overeenkomsten. Ze zijn allemaal illustratief voor en in overeenstemming met onze basisconclusie dat fysieke groeibeperkingen een belangrijk aspect zijn van de mondiale beleidsarena in de eenentwintigste eeuw.

[019] Voor de liefhebbers van getallen kunnen we melden dat de sterk geaggregeerde scenario's van World3 na 30 jaar nog steeds verrassend accuraat blijken te zijn. De wereld had in het jaar 2000 hetzelfde aantal mensen (ongeveer 6 miljard, tegen 3,9 miljard in 1972) als we voorspelden in de standaardrun van World3 uit 1972.^{Q8} Bovendien liet dat scenario een groei zien in de wereldwijde voedselproductie (van 1,8 miljard ton graanequivalent per jaar in 1972 naar 3 miljard in 2000) die vrij goed overeenkomt met de geschiedenis.^{Q9} Bewijst deze overeenkomst met de geschiedenis dat ons model waar was? Nee, natuurlijk niet. Maar het geeft wel aan dat World3 niet helemaal absurd was; de aannames en onze conclusies zijn vandaag de dag nog steeds het over-

wegen waard.

Het is belangrijk om te onthouden dat je World3 niet op een computer hoeft te zetten om de basisconclusies te begrijpen. Onze belangrijkste uitspraken over de waarschijnlijkheid van instorting komen niet voort uit een blind vertrouwen in de curven die door World3 worden gegenereerd. Ze vloeien simpelweg voort uit het begrijpen van de dynamische gedragspatronen die voortkomen uit drie duidelijke, hardnekkige en gemeenschappelijke kenmerken van het mondiale systeem: erodeerbare grenzen, onophoudelijk streven naar groei en vertragingen in de reacties van de maatschappij op naderende grenzen. Elk systeem dat gedomineerd wordt door deze kenmerken is vatbaar voor overschrijding en instorting. De centrale aannames van World3 bestaan uit oorzaak-gevolg mechanismen die grenzen, groei en vertragingen veroorzaken. Aangezien deze mechanismen onbetwistbaar ook in de echte wereld bestaan, hoeft het geen verrassing te zijn dat de wereld zich ontwikkelt langs een pad dat consistent is met de hoofdkenmerken van de scenario's in LTG.

Waarom nog een boek?

Waarom nemen we de moeite om deze bijgewerkte versie van BTL te publiceren, als het in essentie nog steeds dezelfde punten bevat als de twee vorige boeken? Ons belangrijkste doel is om ons betoog uit 1972 te herformuleren op een manier die begrijpelijker is en beter wordt ondersteund door alle gegevens en voorbeelden die de afgelopen decennia naar voren zijn gekomen. Daarnaast willen we de vele do-

centen die onze eerdere teksten gebruiken bijgewerkt materiaal geven om met hun studenten te gebruiken. BTL geeft nog steeds nuttige visies op de toekomst, maar het is een twijfelachtige praktijk voor elke leraar in de eenentwintigste eeuw om een tekst te geven met gegevenstabellen die eindigen in 1990.

[020] En we hebben andere redenen om deze tekst te schrijven. We willen nogmaals benadrukken

- benadrukken dat de mensheid zich in een overgangsfase bevindt en dat de schade en het lijden die daaruit voortvloeien sterk kunnen worden verminderd door verstandig beleid;
- gegevens en analyses aanbieden die de heersende politieke verklaringen tegenspreken dat de mensheid op het juiste pad is voor de eenentwintigste eeuw;
- de wereldburgers te inspireren om na te denken over de langetermijngevolgen van hun acties en keuzes - en hun politieke steun te verwerven voor acties die de schade van overshoot zouden beperken;
- het World3-computermodel onder de aandacht brengen van een nieuwe generatie lezers, studenten en onderzoekers;
- laten zien welke vooruitgang er sinds 1972 is geboekt in het begrijpen van de langetermijnoorzaken en -gevolgen van groei.

Scenario's en voorspellingen

We schrijven dit boek niet om een voorspelling te publice-

ren over wat er werkelijk zal gebeuren in de eenentwintigste eeuw. We voorspellen niet dat een bepaalde toekomst zal plaatsvinden. We presenteren gewoon een reeks alternatieve scenario's: letterlijk 10 verschillende beelden van hoe de eenentwintigste eeuw zou kunnen evolueren. We doen dit om je aan te moedigen om te leren, na te denken en persoonlijke keuzes te maken.

We geloven niet dat de beschikbare gegevens en theorieën ooit accurate voorspellingen zullen opleveren over wat er de komende eeuw met de wereld zal gebeuren. Maar we geloven wel dat de huidige kennis ons in staat stelt om een aantal toekomstige als onrealistisch uit te sluiten. De beschikbare feiten ontkrachten nu al de impliciete verwachtingen van veel mensen over *aanhoudende groei in de toekomst* - het zijn slechts wensdromen, **aantrekkelijk maar onjuist, nuttig maar ineffectief**. Onze analyse zal nuttig zijn als het burgers in de mondiale samenleving dwingt om opnieuw na te denken en meer geïnformeerd en respectvol te worden over de mondiale fysieke grenzen die een belangrijke rol zullen spelen in hun toekomstige leven.

Boeken en de overgang naar duurzaamheid

[021] Een boek lijkt misschien een zwak hulpmiddel in de strijd om duurzame ontwikkeling te bereiken. Maar de geschiedenis van ons werk geeft een ander beeld. Miljoenen exemplaren van LTG en BTL werden verkocht. Het eerste boek bracht een wijdverspreid debat op gang en het tweede wakkerde dat debat weer aan. We hebben het bewustzijn en de bezorgdheid over milieukwesties vergroot in de beginda-

gen van de milieubeweging. Veel studenten die LTG lazen, kozen voor nieuwe carrière doelen en richtten hun studie op zaken die te maken hadden met milieu en duurzame ontwikkeling. Dat was allemaal nuttig.

Maar ons werk schoot in veel opzichten tekort. De belangrijkste ambitie van LTG en BTL was om de aandacht te vestigen op het fenomeen van wereldwijde ecologische overschrijding en om de samenleving aan te moedigen om vraagtekens te zetten bij het streven naar groei als wondermiddel voor de meeste problemen. We hebben de term “*grenzen aan de groei*” algemeen in gebruik genomen. De term wordt echter vaak verkeerd begrepen en wordt tegenwoordig meestal op een erg simplistische manier gebruikt. De meeste critici denken dat onze bezorgdheid over grenzen voortkomt uit de overtuiging dat fossiele brandstoffen of een andere bron snel uitgeput zullen zijn. In feite is onze bezorgdheid subtieler; we maken ons zorgen dat het huidige beleid zal leiden tot wereldwijde overschrijding en ineenstorting door ineffectieve pogingen om te anticiperen op en om te gaan met ecologische grenzen. Wij geloven dat de menselijke economie nu belangrijke grenzen overschrijdt en dat deze overschrijding de komende decennia sterk zal toenemen. We zijn er in onze eerdere boeken niet in geslaagd om deze zorg op een heldere manier over te brengen. We zijn er totaal niet in geslaagd om het concept van “*overshoot*” geaccepteerd te krijgen als een legitieme zorg voor het publieke debat.

Het is nuttig om onze resultaten te vergelijken met die groepen (grotendeels bestaande uit economen) die de afgelopen

30 jaar het concept van vrije handel hebben gepusht. In tegenstelling tot ons zijn zij erin geslaagd om van hun concept een begrip te maken. In tegenstelling tot ons hebben zij talloze politici overtuigd om voor vrijhandel te vechten. Maar ook zij worden geconfronteerd met een wijdverspreid en vrij fundamenteel gebrek aan overtuiging en trouw dat opduikt wanneer vrijhandelsbeleid ook onmiddellijke persoonlijke of lokale kosten met zich meebrengt, zoals banenverlies. Er zijn ook veel misvattingen over het totale pakket van kosten en baten die voortvloeien uit het aannemen van het doel van vrijhandel. Ecologische overschrijding lijkt ons een veel belangrijker concept in de eenentwintigste eeuw dan vrijhandel. Maar het ligt ver achter in de strijd om publieke aandacht en respect. Dit boek is een nieuwe poging om die kloof te dichten.

Overschrijding en instorting in de praktijk

[022] Overschrijding - en daaropvolgende welvaartsdaling - is het gevolg wanneer de samenleving zich niet goed genoeg op de toekomst voorbereidt. Welvaartsverlies treedt bijvoorbeeld op wanneer er geen kant-en-klare vervanging is voor slinkende oliereserves, voor schaarser wordende wilde vis en voor duurdere tropische bossen, zodra deze bronnen uitgeput beginnen te raken. Het probleem is erger als de hulpbronnen erodeerbaar zijn en vernietigd worden tijdens de overschrijding. Dan kan de samenleving instorten.

Een levendig voorbeeld van wereldwijde overschrijding en ineenstorting vond plaats rond de millenniumwisseling: de “dot.com zeepbel” op de wereldwijde aandelenmarkt. De

zeepbel illustreert de dynamiek van dit boek, maar dan in de financiële wereld en niet in de wereld van fysieke grondstoffen. De uitputbare hulpbron was het vertrouwen van investeerders.

Wat er in het kort gebeurde, was dat aandelenkoersen spectaculair stegen van 1992 tot maart 2000, tot wat achteraf gezien een totaal onhoudbare piek was. Vanaf deze piek daalden de aandelenkoersen drie jaar lang, voordat ze in maart 2003 een dieptepunt bereikten. Daarna herstelden de prijzen zich geleidelijk (tenminste tot januari 2004, toen ik dit schreef).

Net zoals het geval zal zijn wanneer de mensheid een limiet voor hulpbronnen of emissies overschrijdt, was er weinig ontbering verbonden aan de lange opleving van de aandelenkoersen. Integendeel, er was een breed enthousiasme telkens aandelenindexen nieuwe hoogten bereikten. Het meest opmerkelijke is dat het enthousiasme aanhield zelfs nadat de aandelenkoersen een onhoudbaar niveau hadden bereikt - wat achteraf gezien al in 1998 lijkt te zijn gebeurd. Pas lang na de piek en enkele jaren na de ineenstorting begonnen beleggers te accepteren dat er sprake was geweest van een “zeepbel” - hun woord voor doorgeschoten. Toen de ineenstorting eenmaal goed en wel op gang was, kon niemand de val stoppen. Toen het drie jaar had geduurd, twijfelden velen of er ooit een einde aan zou komen. Het vertrouwen van investeerders was volledig aangetast.

Helaas geloven wij dat de wereld een overshoot en ineenstorting van het wereldwijde gebruik van grondstoffen en emissies zal meemaken, net zoals bij de dot.com-zeepbel,

zij het op een veel langere tijdschaal. De groeifase zal worden verwelkomd en gevierd, zelfs lang nadat het zich naar niet-duurzaam gebied heeft verplaatst (dit weten we, omdat het al gebeurd is). De ineenstorting zal heel plotseling komen, tot ieders verrassing. En als het een paar jaar heeft geduurd, zal het steeds duidelijker worden dat de situatie voor de ineenstorting totaal onhoudbaar was. [023] Na nog meer jaren van verval zullen weinigen geloven dat er ooit een einde aan zal komen. Weinigen zullen geloven dat er weer een overvloed aan energie en voldoende wilde vis zal zijn. Hopelijk zullen ze ongelijk krijgen.

Plannen voor de toekomst

Ooit lagen de grenzen van de groei ver in de toekomst. Nu zijn ze overal zichtbaar. Ooit was het concept van instorting ondenkbaar. Nu begint het door te dringen in het publieke debat - hoewel het nog steeds een ver, hypothetisch en academisch concept is. We denken dat het nog tien jaar zal duren - 2014 - voordat de gevolgen van een overschrijding duidelijk waarneembaar zijn en twee decennia - 2024 - voordat het feit van een overschrijding algemeen erkend wordt. De scenario's in deze bundel laten zien dat het eerste decennium van de eenentwintigste eeuw nog steeds een periode van groei zal zijn - net als de scenario's in LTG 30 jaar geleden. Onze verwachtingen voor de periode 1970-2010 wijken dus nog niet veel af van die van onze critici. We moeten allemaal nog een decennium wachten op sluitend bewijs over wie het beter begrijpt.

We zijn van plan om dit rapport in 2012 bij te werken, op de

veertigste verjaardag van ons eerste boek. Tegen die tijd verwachten we dat er een overvloed aan gegevens zal zijn om de realiteit van de overschrijding te testen. We zullen bewijs kunnen aanvoeren dat we gelijk hadden, of we zullen gegevens moeten erkennen die erop wijzen dat technologie en de markt de wereldwijde grenzen inderdaad ver boven de eisen van de menselijke samenleving hebben opgestuwd. Bevolking en economie zullen afnemen of de wereld zal zich voorbereiden op nog vele decennia van groei. Totdat we dat rapport kunnen opstellen, zult u uw eigen mening moeten vormen over de oorzaken en gevolgen van de groei van de menselijke ecologische voetafdruk. We hopen dat u deze compilatie van informatie een nuttige basis vindt voor die inspanning.

HOOFDSTUK – 1

OVERSCHRIJDEN

De toekomst is niet meer ... wat het had kunnen zijn als mensen hadden geweten hoe ze hun hersenen en hun mogelijkheden effectiever konden gebruiken. Maar de toekomst kan nog steeds worden wat we redelijkerwijs en realistisch willen.

-AURELIO PECCEI, 1981

Overschrijden – doorschieten – betekent te ver gaan, per ongeluk - zonder opzet - grenzen overschrijden. Mensen ervaren elke dag overschrijdingen. Als je te snel opstaat uit een stoel, verlies je misschien even je evenwicht. Als je de heetwaterkraan te ver opendraait onder de douche, kun je je verbranden. Op een ijzige weg kan je auto voorbij een stopbord glijden. Op een feestje drink je misschien veel meer alcohol dan je lichaam veilig kan verwerken; 's ochtends heb je dan een vreselijke hoofdpijn. Bouwbedrijven bouwen regelmatig meer flatgebouwen dan er gevraagd worden, waardoor ze gedwongen worden eenheden onder de kostprijs te verkopen en mogelijk failliet gaan. Er worden vaak te veel vissersboten gebouwd. Dan worden vissersvloten zo groot dat ze veel meer vangen dan de duurzame oogst. Dit put de vispopulatie uit en dwingt schepen om in de haven te blijven. Chemische

bedrijven hebben meer gechloreerde chemicaliën geproduceerd dan de bovenste atmosfeer veilig kan opnemen. Nu zal de ozonlaag tientallen jaren gevaarlijk uitgeput raken totdat het chloorgehalte in de stratosfeer afneemt.

De drie oorzaken van overschrijding zijn altijd dezelfde, op elke schaal van persoonlijk tot planetair. Ten eerste is er groei, versnelling, snelle verandering. Ten tweede is er een soort grens of barrière waar het bewegende systeem niet veilig voorbij kan gaan. Ten derde is er een vertraging of fout in de waarnemingen en de reacties die ernaar streven om het systeem binnen zijn grenzen te houden. Deze drie zijn noodzakelijk en voldoende om een overschrijding te veroorzaken.

[027] Overschrijding komt vaak voor en bestaat in bijna oneindige vormen. De verandering kan fysiek zijn - groei in het gebruik van aardolie. Het kan organisatorisch zijn - een toename van het aantal mensen dat onder toezicht staat. Het kan psychologisch zijn - voortdurend stijgende doelen voor persoonlijke consumptie. Of het kan zich manifesteren in financiële, biologische, politieke of andere vormen.

De grenzen zijn net zo divers - ze kunnen worden opgelegd door een vaste hoeveelheid ruimte; door beperkte tijd; door beperkingen die inherent zijn aan fysieke, biologische, politieke, psychologische of andere kenmerken van een systeem.

Ook de vertragingen ontstaan op vele manieren. Ze kunnen het gevolg zijn van onoplettendheid, gebrekkige gegevens, vertraagde informatie, trage reflexen, een logge of ruziënde

bureaucratie, een verkeerde theorie over hoe het systeem reageert, of van een momentum dat verhindert dat het systeem snel stopt ondanks alle inspanningen om het te stoppen. Vertragingen kunnen bijvoorbeeld ontstaan wanneer een bestuurder zich niet realiseert hoeveel de remkracht van zijn auto verminderd is door ijs op de weg; de aannemer gebruikt de huidige prijzen om beslissingen te nemen over bouwactiviteiten die de markt twee of drie jaar in de toekomst zullen beïnvloeden; de eigenaars van de vissersvloot baseren hun beslissingen op gegevens over recente vangsten, niet op informatie over de toekomstige voortplantingssnelheid van de vis; chemicaliën hebben jaren nodig om te migreren van waar ze gebruikt worden naar een punt in het ecosysteem waar ze ernstige schade veroorzaken.

De meeste gevallen van overschrijding veroorzaken weinig schade. Het overschrijden van vele soorten limieten stelt niemand bloot aan ernstige schade. De meeste soorten van overschrijding komen vaak genoeg voor dat wanneer ze potentieel gevaarlijk zijn, mensen leren om ze te vermijden of om de gevolgen ervan te minimaliseren. Je test bijvoorbeeld de watertemperatuur met je hand voordat je in de douchecabine stapt. Soms is er schade, maar die is snel verholpen: De meeste mensen proberen 's ochtends extra lang te slapen na een late avond drinken in de bar.

Af en toe is er echter kans op een catastrofale overschrijding. De groei van de wereldbevolking en de materiële economie confronteert de mensheid met deze mogelijkheid. Het is de focus van dit boek.

Door deze tekst heen worstelen we met de moeilijkheden

van het begrijpen en beschrijven van de oorzaken en gevolgen van een bevolking en economie die voorbij de draagkracht van de aarde zijn gegroeid. De problemen zijn complex. De relevante gegevens zijn vaak van slechte kwaliteit en onvolledig. [028] De beschikbare wetenschap heeft nog geen consensus opgeleverd onder onderzoekers, laat staan onder politici. Toch hebben we een term nodig die verwijst naar de relatie tussen de eisen die de mensheid aan de planeet stelt en de capaciteit van de aarde om te voorzien. Voor dit doel zullen we de term ecologische voetafdruk gebruiken.

De term werd populair door een onderzoek dat Mathis Wackernagel en zijn collega's in 1997 uitvoerden voor de Earth Council. Wackernagel berekende de hoeveelheid land die nodig zou zijn om te voorzien in de natuurlijke hulpbronnen die door de bevolking van verschillende naties worden verbruikt en om hun afval te absorberen'. De term en wiskundige benadering van Wackernagel werden later overgenomen door het *Wereld Natuur Fonds* (WWF), dat halfjaarlijkse gegevens over de ecologische voetafdruk van meer dan 150 landen verschaft in zijn *Living Planet Report*.^{Q2} Volgens deze gegevens verbruiken de volkeren op aarde sinds het eind van de jaren tachtig elk jaar meer van de grondstoffenproductie van de planeet dan in dat jaar kan worden gerege-nereerd. Met andere woorden, de ecologische voetafdruk van de wereldwijde samenleving heeft het vermogen van de aarde om te voorzien overschreden. Er is veel informatie die deze conclusie ondersteunt. We zullen er verder op ingaan in hoofdstuk 3.

De potentiële gevolgen van deze overschrijding zijn zeer gevaarlijk. De situatie is uniek; ze confronteert de mensheid met een verscheidenheid aan problemen die onze soort nog nooit eerder op wereldschaal heeft meegemaakt. We missen de perspectieven, de culturele normen, de gewoonten en de instellingen die nodig zijn om ermee om te gaan. En het zal in veel gevallen eeuwen of millennia duren om de schade te herstellen.

Maar de gevolgen hoeven niet catastrofaal te zijn. Overschrijding kan leiden tot twee verschillende uitkomsten. De ene is een soort crash. Een andere is een bewuste ommekeer, een correctie, een voorzichtige afzwakking. We onderzoeken deze twee mogelijkheden zoals ze van toepassing zijn op de menselijke samenleving en de planeet die haar ondersteunt. Wij geloven dat een correctie mogelijk is en dat die zou kunnen leiden tot een wenselijke, duurzame, voldoende toekomst voor alle volkeren van de wereld. We geloven ook dat als er niet snel een diepgaande correctie plaatsvindt, een soort crash zeker is. En die zal plaatsvinden binnen het leven van velen die nu nog leven.

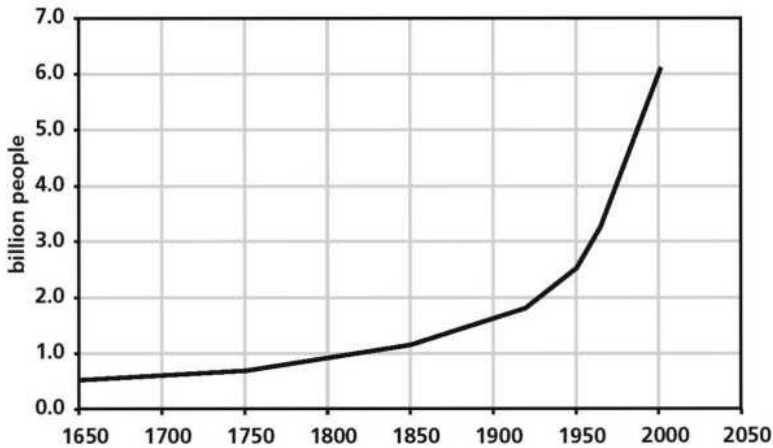
Dit zijn enorme beweringen. Hoe zijn we daarop gekomen? De afgelopen 30 jaar hebben we met veel collega's samengewerkt om de langetermijnoorzaken en gevolgen van de groei van de menselijke bevolking en haar ecologische voetafdruk te begrijpen. We hebben deze kwesties op vier manieren benaderd - in feite door vier verschillende lenzen te gebruiken om de gegevens op verschillende manieren te bekijken, net zoals de lenzen van een microscoop en een telescoop verschillende perspectieven geven. [029] Drie van

deze kijkwijzers worden veel gebruikt en zijn gemakkelijk te beschrijven: (1) standaard wetenschappelijke en economische theorieën over het mondiale systeem; (2) gegevens over de hulpbronnen en het milieu van de wereld; en (3) een computermodel om ons te helpen die informatie te integreren en de implicaties ervan te projecteren. Een groot deel van dit boek gaat in op deze drie lenzen. Het beschrijft hoe we ze gebruikten en wat ze ons lieten zien.

Ons vierde hulpmiddel is ons “*wereldbeeld*”, een intern consistente verzameling overtuigingen, houdingen en waarden - een paradigma, een fundamentele manier om naar de werkelijkheid te kijken. Iedereen heeft een wereldbeeld; het beïnvloedt waar men kijkt en wat men ziet. Het werkt als een filter; het laat informatie toe die overeenkomt met hun (vaak onbewuste) verwachtingen over de aard van de wereld; het leidt ertoe dat ze informatie negeren die deze verwachtingen uitdaagt of tegenspreekt. Als mensen door een filter naar buiten kijken, zoals een ruit van gekleurd glas, kijken ze er meestal doorheen in plaats van dat ze het zien - en dat geldt ook voor wereldbeelden. Een wereldbeeld hoeft niet beschreven te worden aan mensen die het al delen, en het is moeilijk om het te beschrijven aan mensen die het niet delen. Maar het is cruciaal om te onthouden dat elk boek, elk computermodel, elke publieke verklaring minstens zozeer gevormd wordt door het wereldbeeld van de auteurs als door welke “objectieve” gegevens of analyse dan ook. We kunnen niet voorkomen dat we beïnvloed worden door ons eigen wereldbeeld. Maar we kunnen wel ons best doen om de essentiële kenmerken ervan aan onze lezers te be-

schrijven. Ons wereldbeeld is gevormd door de Westerse industriële samenlevingen waarin we zijn opgegroeid, door onze wetenschappelijke en economische opleiding en door de lessen die we hebben geleerd door te reizen en te werken in vele delen van de wereld. Maar het belangrijkste deel van ons wereldbeeld, het deel dat het minst gedeeld wordt, is ons systeemperspectief.

Net als elk ander gezichtspunt - bijvoorbeeld de top van een heuvel - laat een systeemperspectief mensen sommige dingen zien die ze vanuit een ander gezichtspunt nooit zouden hebben opgemerkt, en het kan het zicht op andere dingen belemmeren. Onze training concentreerde zich op dynamische systemen - op sets van onderling verbonden materiële en immateriële elementen die in de loop van de tijd veranderen. Onze opleiding heeft ons geleerd de wereld te zien als een verzameling zich ontvouwende gedragspatronen, zoals groei, achteruitgang, oscillatie, overschrijding. Het heeft ons geleerd om ons niet zozeer te richten op losse onderdelen van een systeem als wel op verbindingen. We zien de vele elementen van demografie, economie en milieu als één planetair systeem, met ontelbare interacties. We zien voorraden en stromen en terugkoppelingen en drempels in de onderlinge verbindingen, die allemaal van invloed zijn op de manier waarop het systeem zich in de toekomst zal gedragen en op de acties die we kunnen ondernemen om het gedrag te veranderen.



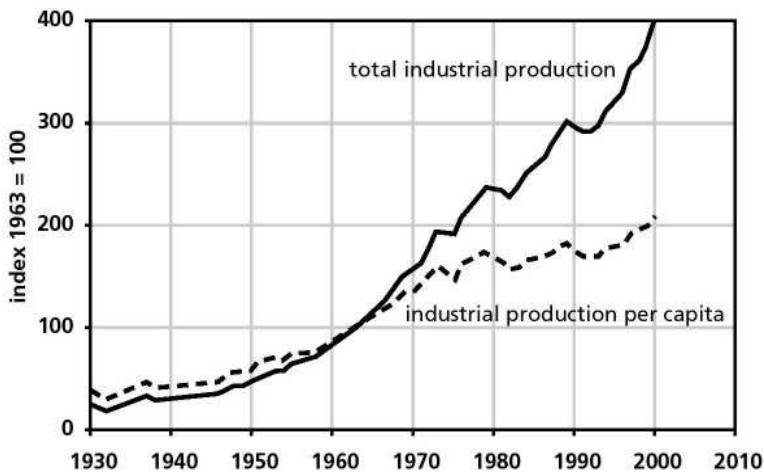
FIGUUR 1-1 Wereldbevolking

De wereldbevolking is sinds het begin van de industriële revolutie exponentieel gegroeid. Let op de vorm van de curve en de toenemende verandering naarmate de tijd verstrijkt; dit zijn kenmerken van exponentiële groei. De groeisnelheid neemt nu echter af; de curve wordt minder steil op een manier die nog net zichtbaar is. In 2001 bedroeg de groei van de wereldbevolking 1,3 procent per jaar, wat overeenkomt met een verdubbelingstijd van 55 jaar. (Bronnen: PRB; VN; D. Bogue.)

[030] Het systeemperspectief is zeker niet de enige nuttige manier om de wereld te zien, maar we vinden het wel een bijzonder informatieve manier. Het laat ons problemen op nieuwe manieren benaderen en onvermoede opties ontdekken. Het is onze bedoeling om hier enkele concepten te delen, zodat u kunt zien wat wij zien en uw eigen conclusies kunt trekken over de toestand van de wereld en de keuzes voor de toekomst.

De structuur van dit boek volgt de logica van onze globale

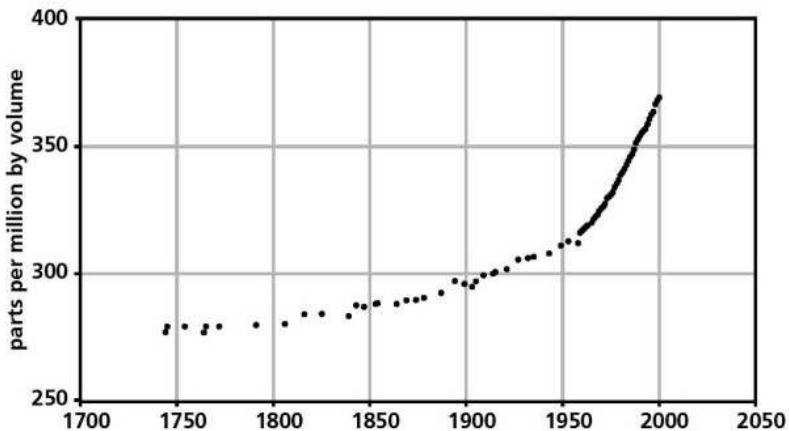
systeemanalyse. We hebben het basispunt al gemaakt. Overschrijding ontstaat door de combinatie van (1) snelle verandering, (2) grenzen aan die verandering en (3) fouten of vertragingen in het waarnemen van de grenzen en het beheersen van de verandering. We zullen de mondiale situatie in die volgorde bekijken: eerst de drijvende factoren die snelle mondiale verandering teweegbrengen, dan de planetaire grenzen, en dan de processen waarmee de menselijke samenleving leert over en reageert op die grenzen.



FIGUUR 1-2 Industriële wereldproductie

De mondiale industriële productie vertoont ten opzichte van het basisjaar 1963 een duidelijke exponentiële stijging, ondanks schommelingen door olieprijschokken en financiële recessies. Het groeipercentage over de afgelopen 25 jaar was gemiddeld 2,9 procent per jaar, een verdubbelingstijd van 25 jaar. De groei per hoofd van de bevolking was echter langzamer vanwege de bevolkingsgroei: slechts 1,3 procent per jaar, een verdubbelingstijd van 55 jaar. (Bronnen: VN; PRB.)

We beginnen in het volgende hoofdstuk met het fenomeen verandering. Absolute, wereldwijde veranderingssnelheden zijn nu groter dan ooit tevoren in de geschiedenis van onze soort. Deze verandering wordt voornamelijk aangedreven door exponentiële groei van zowel de bevolking als de materiële economie. Groei is al meer dan 200 jaar het dominante gedrag van het sociaaleconomische systeem in de wereld. **Figuur 1-1** laat bijvoorbeeld de groei van de menselijke bevolking zien, die nog steeds toeneemt ondanks dalende geboortecijfers. **Figuur 1-2** laat zien dat de industriële productie ook groeit, ondanks dalingen door olieprijschokken, terrorisme, epidemieën en andere kortetermijnvloeden.



FIGUUR 1-3 Kooldioxideconcentratie in de atmosfeer

De concentratie kooldioxide in de atmosfeer is gestegen van ongeveer 270 deeltjes per miljoen (ppm) tot meer dan 370 ppm en blijft groeien. De bronnen van de kooldioxideopbouw zijn voornamelijk de verbranding van fossiele brandstoffen door de mens en de vernietiging van bossen. Het gevolg is een wereldwijde klimaatverandering. (Bronnen: UNEP; U.S. DoE.)

De industriële productie is sneller gestegen dan de bevolking, wat heeft geleid tot een stijging van de gemiddelde materiële levensstandaard.

Een gevolg van de groei van de bevolking en de industrie is de verandering van veel andere kenmerken van het planetaire systeem. Veel vervuilingsniveaus nemen bijvoorbeeld toe. **Figuur 1-3** toont een belangrijke, de ophoping in de atmosfeer van kooldioxide, een broeikasgas, voornamelijk als gevolg van de verbranding van fossiele brandstoffen en het kappen van bossen door de mens.

Andere grafieken in dit boek illustreren de groei in voedselproductie, stedelijke populaties, energieverbruik, materiaalgebruik en vele andere fysieke manifestaties van menselijke activiteit op de planeet. Niet alles groeit even snel of op dezelfde manier. Zoals je in **tabel 1-1** kunt zien, variëren de groeicijfers sterk. Sommige groeicijfers zijn gedaald, maar ze produceren nog steeds aanzienlijke jaarlijkse toenames in de onderliggende variabele.

Vaak levert een dalend groeipercentage nog steeds een stijgende absolute toename op, wanneer een kleiner percentage wordt vermenigvuldigd met een veel grotere basis. Dat is het geval voor 8 van de 14 factoren in tabel 1-1. In de afgelopen halve eeuw hebben mensen hun eigen bevolking, hun fysieke bezittingen en de materiaal- en energiestromen die ze gebruiken vermenigvuldigd met factoren van 2, 4, 10 of zelfs meer, en ze hopen op meer groei in de toekomst.

TABEL 1-1 Wereldwijde groei van geselecteerde menselijke activiteiten en producten 1950–2000

Human population (million)	2,520	160%	4,077	150%	6,067
Registered vehicles (million)	70	470%	328	220%	723
Oil consumption (million barrels per year)	3,800	540%	20,512	130%	27,635
Natural gas consumption (trillion cu. ft. per year)	6.5	680%	44.4	210%	94.5
Coal consumption (million metric tons per year)	1,400	230%	3,300	150%	5,100
Electrical generation capacity (million kilowatts)	154	1040%	1,606	200%	3,240
Corn (maize) production (million metric tons per year)	131	260%	342	170%	594
Wheat production (million metric tons per year)	143	250%	356	160%	584
Rice production (million metric tons per year)	150	240%	357	170%	598
Cotton production (million metric tons per year)	5.4	230%	12	150%	18
Wood pulp production (million metric tons per year)	12	830%	102	170%	171
Iron production (million metric tons per year)	134	350%	468	120%	580
Steel production (million metric tons per year)	185	350%	651	120%	788
Aluminum production (million metric tons per year)	1.5	800%	12	190%	23

(Bronnen: PRB; American Automobile Manufacturers Association; Ward's Motor Vehicle Facts & Figures; U.S. DoE; VN; FAO; CRB).

Individueen steunen een op groei gericht beleid omdat ze geloven dat groei hen een steeds grotere welvaart zal geven. Regeringen zoeken groei als remedie voor zowat elk probleem. In de rijke wereld gelooft men dat groei noodzakelijk

is voor werkgelegenheid, opwaartse mobiliteit en technische vooruitgang. In de arme wereld lijkt groei de enige manier om uit de armoede te komen. Velen geloven dat groei nodig is om de middelen te verschaffen die nodig zijn om het milieu te beschermen en te verbeteren. Leiders in de overheid en het bedrijfsleven doen er alles aan om meer en meer groei te produceren.

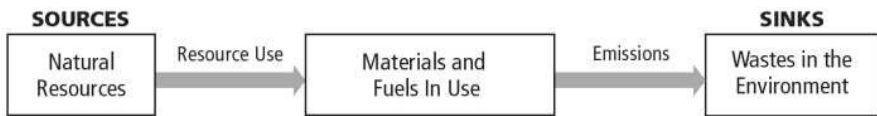
Om deze redenen wordt groei gezien als een reden om feest te vieren. Denk maar eens aan enkele synoniemen voor dat woord: ontwikkeling, vooruitgang, vooruitgang, winst, verbetering, welvaart, succes.

Dat zijn psychologische en institutionele redenen voor groei. Er zijn ook wat systeem mensen structurele redenen noemen, ingebouwd in de verbindingen tussen de elementen van het bevolking-economisch systeem. [032] Hoofdstuk 2 bespreekt deze structurele oorzaken van groei en beschrijft hun implicaties. [033] Daar zullen we laten zien waarom groei zo'n dominant gedrag is van het wereldsysteem.

Groei kan sommige problemen oplossen, maar creëert andere. Dat komt door grenzen, het onderwerp van hoofdstuk 3. De aarde is eindig. Groei van iets fysieks, inclusief de menselijke bevolking en haar auto's en huizen en fabrieken, kan niet eeuwig doorgaan. Maar de grenzen aan de groei zijn geen grenzen aan het aantal mensen, auto's, huizen of fabrieken, tenminste niet direct. Het zijn grenzen aan de doorvoer - de continue stromen van energie en materialen die nodig zijn om mensen, auto's, huizen en fabrieken te laten functioneren. [034] Het zijn grenzen aan de snelheid waarmee de mensheid hulpbronnen kan onttrekken (gewassen,

gras, hout, vis) en afval kan uitstoten (broeikasgassen, giftige stoffen) zonder de productie- of absorptiecapaciteit van de wereld te overschrijden.

De bevolking en de economie zijn afhankelijk van lucht, water, voedsel, materialen en fossiele brandstoffen uit de aarde. Ze stoten afval en vervuiling uit naar de aarde. Bronnen zijn onder andere minerale afzettingen, waterhoudende grondlagen en de voorraad voedingsstoffen in de bodem; tot de putten behoren de atmosfeer, oppervlaktewaterlichamen en stortplaatsen. De fysieke grenzen aan groei zijn grenzen aan het vermogen van planetaire bronnen om materialen en energie te leveren en aan het vermogen van planetaire putten om vervuiling en afval te absorberen.



In hoofdstuk 3 onderzoeken we de status van de bronnen en putten van de aarde. De gegevens die we daar presenteren maken twee punten duidelijk. Het ene punt is slecht nieuws, het andere is goed.

Het slechte nieuws is dat veel cruciale bronnen op raken of degraderen en dat veel putten vollopen of overlopen. *De doorvoerstromen die momenteel door de menselijke economie worden gegenereerd, kunnen niet veel langer in hun huidige tempo worden gehandhaafd.* Sommige bronnen en putten zijn zo onder druk komen te staan dat ze de groei al beginnen te beperken door bijvoorbeeld de kosten te verhogen, de vervuilingslasten te verhogen en het sterftcijfer te

verhogen.

Het goede nieuws is dat *de huidige hoge doorvoersnelheden niet nodig zijn om een fatsoenlijke levensstandaard voor alle mensen ter wereld te ondersteunen*. De ecologische voetafdruk kan worden verkleind door de bevolking te verminderen, consumptienormen te veranderen of technologieën te implementeren die efficiënter met hulpbronnen omgaan. Deze veranderingen zijn mogelijk. De mensheid heeft de kennis die nodig is om een adequaat niveau van finale goederen en diensten te handhaven en tegelijkertijd de belasting van de planeet sterk te verminderen. In theorie zijn er veel mogelijke manieren om de menselijke ecologische voetafdruk terug te brengen tot onder zijn grenzen.

Maar theorie wordt niet automatisch praktijk. De veranderingen en keuzes die de voetafdruk zullen verkleinen worden niet gemaakt, tenminste niet snel genoeg om de groeiende last op de bronnen en putten te verminderen. [035] Ze worden niet gemaakt omdat er geen onmiddellijke druk is om ze te maken en omdat het lang duurt om ze te implementeren. Dat is het onderwerp van hoofdstuk 4. Daar bespreken we de signalen die de menselijke samenleving waarschuwen voor de symptomen van haar overschrijding. En we onderzoeken de snelheid waarmee mensen en instellingen kunnen reageren.

In hoofdstuk 4 richten we ons op ons computermodel, World3. Het stelt ons in staat om veel gegevens en theorieën samen te voegen, waardoor het hele plaatje - groei, grenzen, reactietijd - een expliciet en samenhangend geheel wordt. En het geeft ons een hulpmiddel om de toekomstige gevol-

gen van onze huidige inzichten te projecteren. We laten zien wat er gebeurt als de computer het systeem simuleert zoals het zou kunnen evolueren, uitgaande van geen ingrijpende veranderingen, geen buitengewone inspanningen om vooruit te kijken, signalen te verbeteren of problemen op te lossen voordat ze kritiek worden.

Het resultaat van deze simulaties is, in bijna elk scenario, een overschrijding en ineenstorting van de wereldeconomie en -bevolking. Maar niet alle scenario's laten instorting zien. In hoofdstuk 5 vertellen we het beste verhaal dat we kennen over het vermogen van de mensheid om vooruit te kijken, een grens aan te voelen en zich terug te trekken voordat er een ramp gebeurt. We beschrijven de internationale reactie op het nieuws in de jaren tachtig van een verslechterende ozonlaag in de stratosfeer. Het verhaal is om twee redenen belangrijk. Ten eerste biedt het een sterk tegenvoorbeeld van het wijdverbreide, cynische geloof dat mensen, regeringen en bedrijven nooit kunnen samenwerken om mondiale problemen op te lossen die een vooruitziende blik en zelfdiscipline vereisen. Ten tweede illustreert het concreet de drie kenmerken die nodig zijn voor een overschrijding: snelle groei, grenzen en vertraagde reactie (zowel in de wetenschap als in de politiek).

Het verhaal van de afbraak van stratosferisch ozon en de reactie van de mensheid lijkt nu een succes te zijn, maar het laatste hoofdstuk zal pas over enkele decennia worden geschreven. Het is dus ook een waarschuwend verhaal, een illustratie van hoe verwarrend het kan zijn om de complexe menselijke onderneming naar duurzaamheid te leiden bin-

nen de met elkaar verweven systemen van de planeet terwijl je vertrouwt op onvolmaakt begrip, vertraagde signalen en een systeem met een enorme dynamiek.

In hoofdstuk 6 gebruiken we de computer voor zijn primaire doel - niet om te voorspellen wat het resultaat zal zijn van het huidige beleid, maar om ons af te vragen wat er zou kunnen gebeuren als we verschillende veranderingen doorvoeren. We bouwen in het World3 model een aantal hypothesen in over de menselijke vindingsrijkheid. **[036]** We concentreren ons op twee mechanismen voor het oplossen van problemen - technologie en markten - waar veel mensen veel vertrouwen in hebben. Belangrijke kenmerken van deze twee opmerkelijke menselijke reactievermogens zijn al opgenomen in World3, maar in hoofdstuk 6 versterken we ze. We onderzoeken wat er zou gebeuren als de wereldgemeenschap haar middelen serieus zou gaan inzetten om vervuiling tegen te gaan, land te behouden, de volksgezondheid te verbeteren, materialen te recyclen en veel efficiënter gebruik te maken van hulpbronnen.

Op basis van de resulterende World3-scenario's ontdekken we dat deze maatregelen aanzienlijk helpen. Maar op zichzelf zijn ze niet genoeg. Ze schieten tekort omdat de reacties van de technologiemarkt zelf vertraagd en onvolmaakt zijn. Ze kosten tijd, er is kapitaal voor nodig, er zijn materiaal- en energiestromen voor nodig en ze kunnen worden overspoeld door bevolkingsgroei en economische groei. Technische vooruitgang en marktflexibiliteit zullen nodig zijn om instorting te voorkomen en de wereld duurzaam te maken. Ze zijn nodig, maar ze zijn niet genoeg. Er is iets meer nodig.

Dat is het onderwerp van hoofdstuk 7.

In hoofdstuk 7 gebruiken we World3 om te onderzoeken wat er zou gebeuren als de industriële wereld slimheid zou aanvullen met wijsheid. We nemen aan dat de wereld twee definities van genoeg aanneemt en daarnaar begint te handelen, de ene heeft te maken met materiële consumptie, de andere met gezinsgrootte. Deze veranderingen, gecombineerd met de technische veranderingen die we veronderstelden in hoofdstuk 6, maken een duurzame gesimuleerde wereldbevolking van ongeveer acht miljard mogelijk. Die acht miljard mensen bereiken allemaal een welzijnsniveau dat ongeveer gelijk is aan dat van de lagere-inkomenslanden in het huidige Europa. Met redelijke aannames over marktefficiëntie en technische vooruitgang zou de planeet de materiaal- en energieproductie die nodig is voor die gesimuleerde wereld oneindig kunnen volhouden. In dit hoofdstuk laten we zien dat een overschrijding kan afzwakken tot duurzaamheid.

Duurzaamheid is een concept dat zo vreemd is aan onze huidige, door groei geobsedeerde cultuur, dat we in hoofdstuk 7 de tijd nemen om het te definiëren en te schetsen hoe een duurzame wereld eruit zou kunnen zien - en hoe het niet hoeft te zijn. We zien geen reden waarom een duurzame wereld iemand in armoede zou moeten laten leven. Integendeel, wij denken dat zo'n wereld materiële zekerheid zou moeten bieden aan alle mensen. Wij denken niet dat een duurzame samenleving stagnerend, saai, uniform of rigide hoeft te zijn. Ze hoeft niet centraal bestuurd of autoritair te zijn en kan dat waarschijnlijk ook niet zijn. [037] Het zou

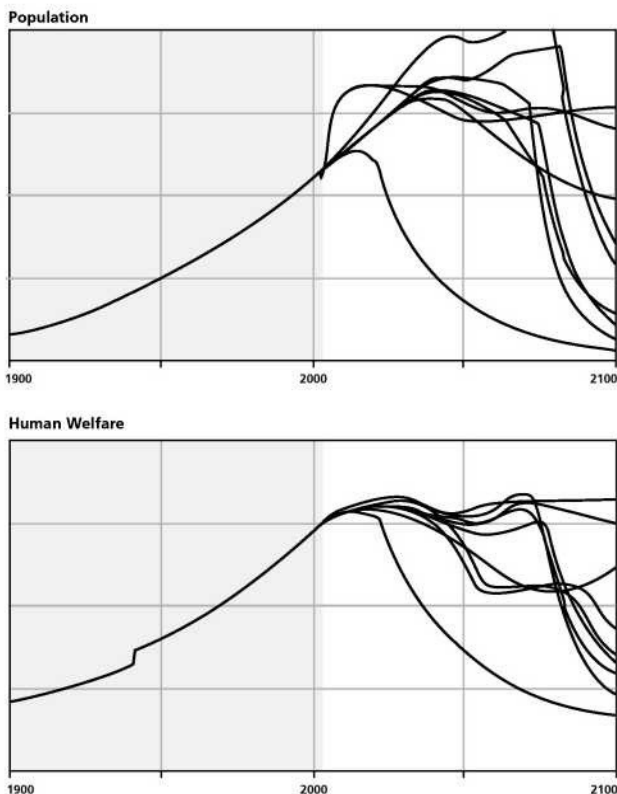
een wereld kunnen zijn die de tijd, de middelen en de wil heeft om haar fouten te corrigeren, te innoveren en de vruchtbaarheid van haar planetaire ecosystemen te behouden. Ze zou zich kunnen richten op het bewust verhogen van de kwaliteit van leven in plaats van op het gedachteloos uitbreiden van materiële consumptie en de fysieke kapitaalvoorraad.

Het afsluitende hoofdstuk 8 is meer gebaseerd op onze mentale modellen dan op gegevens of een computermodel. Het geeft de resultaten van onze persoonlijke pogingen om te begrijpen wat er nu moet gebeuren. Ons wereldmodel, World3, geeft de basis voor zowel pessimisme als optimisme over de toekomst. En op dit punt verschillen de auteurs van mening. Dennis en Jorgen zijn tot de overtuiging gekomen dat een daling van de gemiddelde levenskwaliteit nu onvermijdelijk is, en waarschijnlijk zullen zelfs de wereldbevolking en de wereldeconomie gedwongen worden om te dalen. Donella heeft haar hele leven geloofd dat de mensheid de inzichten, instellingen en ethiek zal ontwikkelen die nodig zijn om een aantrekkelijke, duurzame samenleving te realiseren. Maar zelfs met onze verschillende visies waren we het alle drie eens over hoe de uitdaging benaderd moest worden, en dit wordt besproken in hoofdstuk 8. Het eerste deel van ons laatste hoofdstuk beschrijft de prioriteiten voor actie die de schade aan de planeet en de samenleving zou kunnen minimaliseren. Het tweede deel beschrijft vijf hulpmiddelen die de mondiale samenleving op weg kunnen helpen naar een duurzame staat.

Wat ons ook te wachten staat, we weten dat de belangrijkste

dimensies ervan in **de komende twee decennia** – ca.2000 tot 2020 – naar voren zullen komen. De wereldeconomie is al zo ver boven het duurzame niveau dat er nog maar weinig tijd over is voor de fantasie van een oneindige aardbol. We weten dat aanpassing een enorme opgave zal zijn. Het zal een revolutie met zich meebrengen die net zo ingrijpend is als de agrarische en industriële revoluties. We beseffen hoe moeilijk het is om oplossingen te vinden voor problemen als armoede en werkgelegenheid, waarvoor groei tot nu toe de enige algemeen aanvaarde hoop in de wereld was. Maar we weten ook dat vertrouwen op groei valse hoop is, omdat een dergelijke groei niet kan worden volgehouden. Het blind nastreven van fysieke groei in een eindige wereld maakt de meeste problemen uiteindelijk alleen maar erger; er zijn betere oplossingen mogelijk voor onze echte problemen.

Veel van wat we 30 jaar geleden schreven in *De grenzen aan de groei* is nog steeds waar. Maar de wetenschap en de maatschappij hebben zich de afgelopen drie decennia ontwikkeld. We hebben allemaal veel geleerd en nieuwe perspectieven gekregen. De gegevens, de computer en onze eigen ervaring vertellen ons allemaal dat de mogelijke paden naar de toekomst korter zijn geworden sinds we in 1972 voor het eerst de grenzen aan de groei bespraken. Welvaartsniveaus die we op duurzame wijze aan alle mensen op aarde hadden kunnen bieden, zijn niet langer haalbaar; ecosystemen die we hadden kunnen behouden, zijn uitgeroeid; hulpbronnen die toekomstige generaties rijkdom hadden kunnen geven, zijn verbruikt. Maar er zijn nog veel keuzes mogelijk en die zijn cruciaal.



FIGUUR 1-4 Alternatieve scenario's voor wereldbevolking en menselijk welzijn. Deze figuur legt alle relevante World3 scenario's uit dit boek over elkaar om het brede scala aan mogelijke paden voor twee belangrijke variabelen te illustreren: bevolking en gemiddeld menselijk welzijn (gemeten als een index die inkomen per hoofd combineert met andere indicatoren van welzijn). De meeste scenario's laten een afname zien, maar sommige weerspiegelen een samenleving met een stabiele bevolking en een hoog, duurzaam menselijk welzijn. De bezorgdheid van U Thant werd bijvoorbeeld herhaald in een rapport uit 1992, “De waarschuwing van de wereldwetenschappers aan de mensheid”, ondertekend door meer dan 1600 wetenschappers, waaronder 102 Nobelprijswinnaars, uit 70 landen:

Figuur 1-4 illustreert het enorme scala aan mogelijkheden dat volgens ons nog steeds bestaat. De figuur is afgeleid door de curven voor de menselijke bevolking en het menselijk welzijn over elkaar heen te leggen, gegenereerd door de 9 relevante computerscenario's die we later in dit boek presenteren.^{Q3}

De reeks mogelijke toekomsten omvat een grote verscheidenheid aan paden. Er kan een abrupte ineenstorting zijn; het is ook mogelijk dat er een soepele overgang naar duurzaamheid is. Maar de mogelijke toekomsten bevatten geen oneindige groei in fysieke doorvoer. Dat is geen optie op een eindige planeet. De enige echte keuzes zijn om de verwerkingscapaciteit die menselijke activiteiten ondersteunt terug te brengen naar duurzame niveaus door menselijke keuzes, menselijke technologie en menselijke organisatie, of om de natuur de beslissing te laten nemen door gebrek aan voedsel, energie of materialen, of door een steeds ongezonder milieu.

In 1972 openden we De grenzen aan de groei met een citaat van U Thant, die toen secretaris-generaal van de Verenigde Naties was:

Ik wil niet overdramatisch overkomen, maar op basis van de informatie waarover ik als secretaris-generaal beschik, kan ik alleen maar concluderen dat de leden van de Verenigde Naties misschien nog tien jaar de tijd hebben om hun oude ruzies opzij te schuiven en een mondiaal partnerschap op te zetten om de wapenwedloop te beteugelen, het menselijk milieu te verbeteren, de bevolkingsexplosie onschadelijk te maken en de ontwikkelingsinspanningen de nodige impuls te geven. Als

zo'n mondiaal partnerschap niet binnen het komende decennium tot stand komt, dan vrees ik ten zeerste dat de problemen die ik heb genoemd zulke duizelingwekkende proporties zullen aannemen dat we ze niet meer kunnen beheersen.^{Q4}

Er zijn meer dan 30 jaar verstreken en er is nog steeds geen sprake van een mondiaal partnerschap. Maar er is een groeiende consensus dat de mensheid is ondergedompeld in problemen waar ze geen controle over heeft. En veel gegevens en nieuwe onderzoeken ondersteunen de waarschuwing van de secretaris-generaal.

De bezorgdheid van U Thant werd bijvoorbeeld herhaald in een rapport uit 1992, getiteld “*World Scientists' Warning to Humanity*” (Waarschuwing van wetenschappers aan de mensheid), ondertekend door meer dan 1600 wetenschappers, waaronder 102 Nobelprijswinnaars, uit 70 landen:

De mens en de natuur liggen op ramkoers. Menselijke activiteiten brengen ernstige en vaak onomkeerbare schade toe aan het milieu en aan essentiële hulpbronnen. Als we hier niets aan doen, brengen veel van onze huidige praktijken de toekomst die we voor de menselijke samenleving en de planten- en dierenwereld wensen ernstig in gevaar. Fundamentele veranderingen zijn dringend nodig als we de botsing willen voorkomen die onze huidige koers zal veroorzaken.^{Q5}

De waarschuwing werd zelfs ondersteund door een rapport van de Wereldbank uit 2001:

... een alarmerend tempo van milieudegradatie heeft plaatsgevonden en in sommige gevallen versnelt.... Overall in de ontwikkelingslanden brengen milieuproblemen ernstige menselij-

ke, economische en sociale kosten met zich mee en bedreigen ze het fundament waarvan groei en uiteindelijk ook overleving afhankelijk zijn.^{Q6}

Had U Thant gelijk? Zijn de huidige wereldproblemen voor niemand meer beheersbaar? Of was hij voorbarig; zou de zelfverzekerde uitspraak van de Wereldcommissie voor Milieu en Ontwikkeling uit 1987 juist kunnen zijn?

De mensheid heeft het vermogen om ontwikkeling duurzaam te maken - om ervoor te zorgen dat deze voorziet in de behoeften van het heden zonder het vermogen van toekomstige generaties om in hun eigen behoeften te voorzien in gevaar te brengen.

Niemand kan deze vragen met volledige zekerheid voor je beantwoorden. Toch is het dringend belangrijk dat iedereen weloverwogen antwoorden op bovenstaande vragen ontwikkelt. Die antwoorden zijn nodig om de gebeurtenissen die zich ontfouwen te interpreteren en om persoonlijke acties en keuzes van dag tot dag te sturen.

We nodigen je uit om ons te vergezellen in de volgende bespreking van de gegevens, de analyses en de inzichten die we de afgelopen 30 jaar hebben verzameld. En dan zul je een basis hebben om je eigen conclusies te trekken over de toekomst van de wereld en om keuzes te maken die je eigen leven kunnen sturen.

HOOFDSTUK – 2

DE DRIJVENDE KRACHT: EXPONENTIËLE GROEI

Tot mijn grote schrik moet ik vaststellen dat ik niet immuun ben voor naïviteit over exponentiële functies... Hoewel ik me ervan bewust ben dat de onderling samenhangende problemen van verlies aan biologische diversiteit, tropische ontbossing, bossterfte op het noordelijk halfrond en klimaatverandering exponentieel toenemen, denk ik pas dit jaar echt te beseffen hoe snel deze dreiging zich versnelt.

-THOMAS E. LovEjoY, 1988

'De eerste oorzaak van overschrijding is groei, versnelling, snelle verandering. Al meer dan een eeuw groeien veel fysieke kenmerken van het mondiale systeem snel. Zo nemen bijvoorbeeld de bevolking, de voedselproductie, de industriële productie, het verbruik van hulpbronnen en de vervuiling allemaal toe, vaak in een steeds sneller tempo. Hun toename volgt een patroon dat wiskundigen exponentiële groei noemen.

Dit patroon komt zeer vaak voor. De figuren 2-1 en 2-2 illustreren twee zeer verschillende voorbeelden: de tonnen soja die elk jaar worden geproduceerd en het aantal mensen in minder ontwikkelde regio's dat in stedelijke gebieden woont. Extreme weersomstandigheden, economische

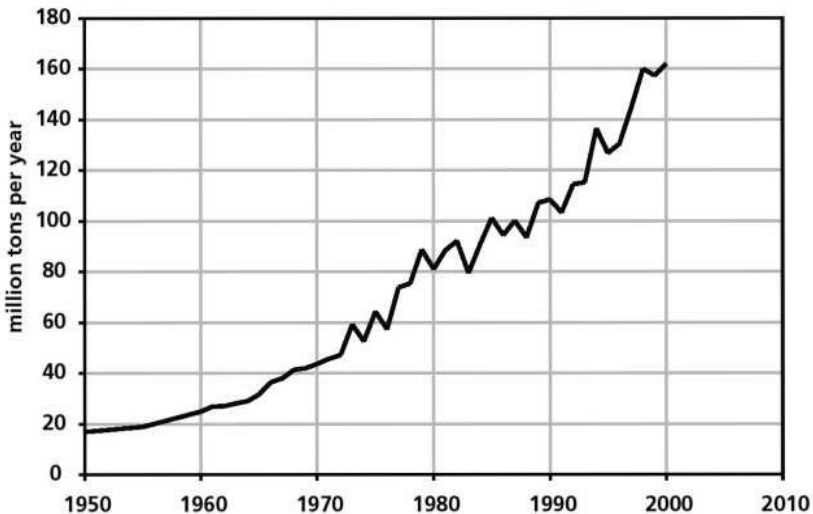
schommelingen, technische veranderingen, epidemieën of maatschappelijke onrust kunnen kleine pieken en dalen veroorzaken in de vloeiende curven, maar over het geheel genomen is exponentiële groei sinds de industriële revolutie het dominante gedrag van het menselijke sociaaleconomische systeem.

Dit type groei heeft verrassende kenmerken die het zeer moeilijk te beheersen maken. Daarom zullen we onze analyse van de langetermijnopties voorafgaan met een definitie van exponentiële groei, een beschrijving van de oorzaken ervan en een bespreking van de factoren die het verloop ervan bepalen. Fysieke groei op een eindige planeet moet uiteindelijk tot stilstand komen. Maar wanneer zal dat gebeuren en welke krachten zullen ervoor zorgen dat de groei afneemt? In welke toestand zullen de mensheid en het mondiale ecosysteem zich bevinden nadat de groei tot stilstand is gekomen? Om die vragen te beantwoorden, is het noodzakelijk om de systeemstructuur te begrijpen die ervoor zorgt dat de menselijke bevolking en economie voortdurend naar groei streven. Dat systeem vormt de kern van het World3-model en is volgens ons een bepalend kenmerk van de mondiale samenleving.

De wiskunde van exponentiële groei

Neem een groot stuk stof en vouw het dubbel. Je hebt de dikte nu verdubbeld. Vouw het nogmaals dubbel, zodat het vier keer zo dik is. Vouw het nogmaals dubbel. Vouw het nog een vierde keer dubbel. Nu is het 16 keer zo dik als het

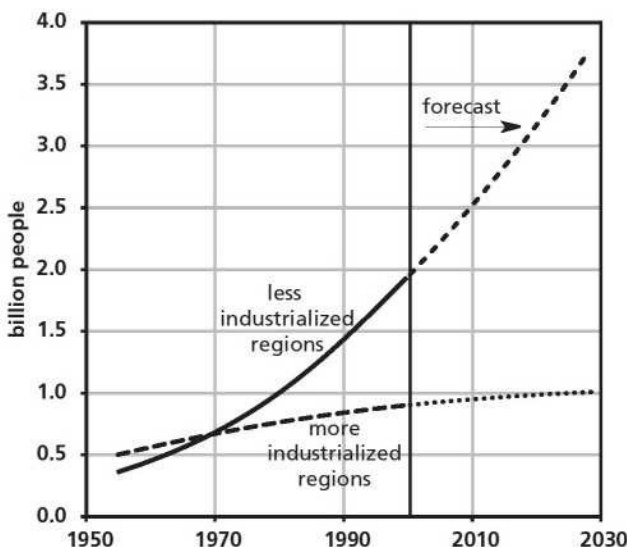
origineel, ongeveer een centimeter of 0,4 inch dik.



FIGUUR 2-1 Wereldproductie van sojabonen

De wereldproductie van sojabonen is sinds 1950 gestegen met een verdubbelingstijd van 16 jaar. (Bronnen: Worldwatch Institute; FAO.)

Als je het doek nog 29 keer op die manier zou kunnen vouwen, voor een totaal van 33 verdubbelingen, hoe dik zou het dan worden? Minder dan een voet? Tussen 1 voet en 10 voet? Tussen 10 voet en een mijl? Natuurlijk kun je een stuk stof niet 33 keer dubbelvouwen. Maar als je dat wel zou kunnen, zou het bundeltje stof lang genoeg zijn om van Boston naar Frankfurt te reiken - 3400 mijl, ongeveer 5400 kilometer.



FIGUUR 2-2 Wereldwijde stedelijke bevolking

In de afgelopen halve eeuw is de stedelijke bevolking exponentieel gegroeid in de minder geïndustrialiseerde regio's van de wereld, maar bijna lineair in de meer geïndustrialiseerde regio's. De gemiddelde verdubbelingstijd voor de stedelijke bevolking in minder geïndustrialiseerde regio's is 19 jaar. Deze trend zal naar verwachting nog enkele decennia aanhouden. (Bron: VN.)

Exponentiële groei – het proces van verdubbelen, opnieuw verdubbelen en nogmaals verdubbelen – is verrassend, omdat het zo snel tot zulke enorme aantallen leidt. Exponentieel groeiende hoeveelheden misleiden ons omdat de meesten van ons groei als een lineair proces zien. Een hoeveelheid groeit lineair wanneer de toename ervan gedurende een bepaalde periode constant is. Als een bouwploeg elke week een mijl snelweg aanlegt, groeit de weg lineair. Als een kind

elk jaar 7 dollar in een pot stopt, groeit het spaargeld lineair. De hoeveelheid nieuw asfalt die wordt toegevoegd, wordt niet beïnvloed door de lengte van de reeds aangelegde weg, noch wordt het jaarlijkse spaargeld beïnvloed door het geld dat al in de pot zit. Wanneer een factor lineair groeit, is de toename altijd gelijk in een bepaalde periode; deze is niet afhankelijk van hoeveel er al van de factor is verzameld.

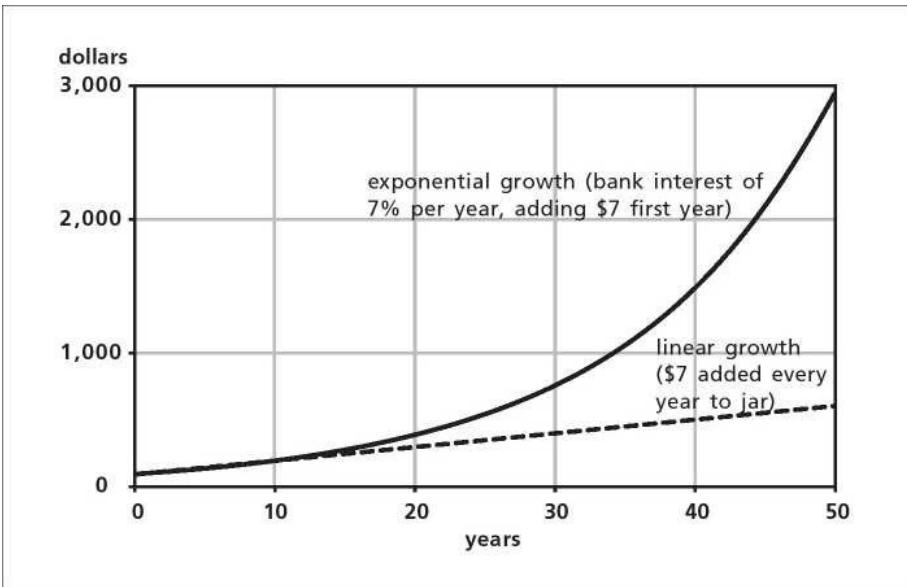
[045] Een hoeveelheid groeit exponentieel wanneer de toename evenredig is aan wat er al is. Een kolonie gistcellen waarin elke cel zich elke 10 minuten in tweeën deelt, groeit exponentieel. Na 10 minuten zijn er voor elke cel twee cellen. Na nog eens 10 minuten zijn er 4 cellen, 10 minuten later 8, dan 16, enzovoort. Hoe meer gistcellen er zijn, hoe meer nieuwe er per tijdseenheid worden aangemaakt. Een bedrijf dat zijn bruto-omzet jaar na jaar met een bepaald percentage weet te verhogen, groeit exponentieel. *Wanneer een factor exponentieel groeit, stijgt de omvang van de toename van de ene periode tot de volgende; dit hangt af van hoeveel van de factor al is opgebouwd.*

Het enorme verschil tussen lineaire groei en exponentiële groei wordt geïllustreerd aan de hand van twee manieren om een bedrag van 100 dollar te vermeerderen: u kunt het geld op een bankrekening zetten om rente te laten opbouwen, of u kunt het geld in een pot doen en er jaarlijks een vast bedrag aan toevoegen. Als u eenmalig \$ 100 stort op een bankrekening met een jaarlijkse rente van 7 procent, samengesteld op jaarbasis, en de rente op de rekening laat staan, zal het geïnvesteerde geld exponentieel groeien. Elk jaar komt er een bedrag bij het reeds aanwezige geld. Het percentage

dat erbij komt is constant, namelijk 7 procent per jaar, maar het absolute bedrag van de toename zal groeien. Deze toevoeging is \$ 7 aan het einde van het eerste jaar. De rente over het tweede jaar bedraagt 7 procent van \$ 107, wat neerkomt op \$ 7,49, waardoor het totaal aan het begin van het derde jaar \$ 114,49 bedraagt. Een jaar later bedraagt de rente \$ 8,01 en het totaal \$ 122,50. Aan het einde van het tiende jaar is de rekening gegroeid tot \$ 196,72.

Als u \$ 100 in een pot doet en daar elk jaar \$ 7 aan toevoegt, groeit het geld lineair. Aan het einde van het eerste jaar bevat de pot ook \$ 107, hetzelfde bedrag als op de bankrekening. Aan het einde van het tiende jaar bevat de pot \$ 170, minder dan op de bankrekening, maar niet veel minder.

In eerste instantie lijken beide spaarstrategieën vrijwel dezelfde resultaten op te leveren, maar uiteindelijk wordt het explosieve effect van aanhoudende exponentiële accumulatie duidelijk (figuur 2-3). Na 20 jaar bevat de pot \$ 240, terwijl de bankrekening bijna \$ 400 bevat. Aan het einde van het 30e jaar zal de lineaire groei in de pot \$ 310 aan spaargeld hebben opgeleverd. De bankrekening, met 7 procent rente per jaar, staat op iets meer dan 761 dollar. In 30 jaar levert exponentiële groei van 7 procent per jaar dus meer dan twee keer zoveel op als lineaire groei, ook al zijn beide begonnen met een identiek bedrag. Aan het einde van het 50e jaar is de bankrekening 6,5 keer zo groot als het bedrag in de pot, bijna 2500 dollar meer!



FIGUUR 2-3 Lineaire versus exponentiële groei van spaargeld
Als iemand \$ 100 in een pot stopt en elk jaar \$ 7 toevoegt, zal het spaargeld lineair groeien, zoals aangegeven door de stippellijn. Als de persoon \$ 100 op een bank zet tegen 7 procent rente per jaar, zal die \$ 100 exponentieel groeien, met een verdubbelingstijd van ongeveer 10 jaar.

De onverwachte gevolgen van exponentiële groei fascineren mensen al eeuwenlang. Een Perzische legende vertelt over een slimme hoveling die zijn koning een prachtig schaakbord schonk en hem in ruil daarvoor vroeg om één rijstkorrel voor het eerste vakje op het bord, twee korrels voor het tweede vakje, vier korrels voor het derde, enzovoort.

De koning stemde toe en gaf opdracht om rijst uit zijn voorraadkamers te halen. Voor het vierde veld op het schaakbord waren 8 rijstkorrels nodig, voor het tiende veld 512, voor

het vijftiende 16.384 en voor het eenentwintigste veld kreeg de hoveling meer dan een miljoen rijstkorrels. Bij het eenenveertigste veld moesten een biljoen (1012) rijstkorrels worden geleverd. De betaling kon nooit doorgaan tot het vierenzestigste vakje; daarvoor zou meer rijst nodig zijn geweest dan er in de hele wereld was!

Een Frans raadsel illustreert een ander aspect van exponentiële groei: de schijnbare plotselingheid waarmee een exponentieel groeiende hoeveelheid een vaste grens nadert. Stel dat u een vijver heeft. Op een dag ziet u dat er een enkele waterlelie in uw vijver groeit. [047] U weet dat de lelie elke dag in omvang verdubbelt. Je beseft dat als je de plant ongehinderd laat groeien, deze binnen 30 dagen de vijver volledig zal bedekken en alle andere levensvormen in het water zal verstikken. Maar in het begin lijkt de lelie nog klein, dus besluit je je geen zorgen te maken. Je ziet wel hoe het loopt als de vijver voor de helft bedekt is. Hoeveel tijd heb je jezelf gegeven om de vernietiging van je vijver te voorkomen? Je hebt jezelf slechts één dag gegeven! Op de 29e dag is de vijver voor de helft bedekt. De volgende dag, na nog een laatste verdubbeling, zal de vijver volledig in de schaduw liggen. In eerste instantie lijkt het redelijk om actie uit te stellen totdat de vijver voor de helft bedekt is. Op de 21e dag bedekt de plant slechts 0,2 procent van de vijver. Op de 25e dag bedekt de plant slechts 3 procent van de vijver. Maar ook dan heb je nog maar één dag om je vijver te redden.^{Q2}

Je ziet hoe exponentiële groei in combinatie met vertraagde reacties kan leiden tot overschrijding. Lange tijd lijkt de

groei onbeduidend. Er lijkt geen probleem te zijn. Dan komt er plotseling een steeds snellere verandering, totdat er met de laatste verdubbeling of twee geen tijd meer is om te reageren. De schijnbare crisis op de laatste dag van de lelievijver komt niet voort uit een verandering in het onderliggende proces; het procentuele groeipercentage van de lelies blijft de hele maand absoluut constant. Toch stapelt die exponentiële groei zich plotseling op en ontstaat er een onbeheersbaar probleem.

Je kunt deze plotselinge overgang van onbeduidendheid naar overbelasting zelf ervaren. Stel je voor dat je op de eerste dag van de maand één pinda eet, op de tweede dag twee pinda's, op de derde dag vier pinda's, enzovoort. In eerste instantie koop en consumeer je een onbeduidende hoeveelheid voedsel. Maar lang voor het einde van de maand zouden je bankrekening en je gezondheid ernstig worden aangetast. Hoe lang zou je deze oefening in exponentieel groeiende voedselinname, met een verdubbelingstijd van één dag, kunnen volhouden? Op de tiende dag zou je minder dan een pond pinda's moeten eten. Maar op de laatste dag van de maand zou je beleid om de consumptie elke dag te verdubbelen je dwingen om meer dan 500 ton pinda's te kopen en op te eten!

Het pinda-experiment zou geen ernstige schade veroorzaken, omdat je op een gegeven moment gewoon naar een onmogelijk grote berg pinda's zou kijken en zou stoppen. In dit voorbeeld is er geen noemenswaardige vertraging tussen het moment waarop je een actie onderneemt en het moment waarop je de volledige gevolgen ervan voelt.

Een hoeveelheid die groeit volgens een pure exponentiële groeivergelijking verdubbelt in een constante tijdsperiode. Voor de gistkolonie was de verdubbelingstijd 10 minuten. Geld op een bankrekening met een jaarlijkse rente van 7 procent verdubbelt ongeveer elke 10 jaar. [048] Voor de lelieplant en het pindapunt was de verdubbelingstijd precies één dag. Er is een eenvoudig verband tussen de groei in procenten en de tijd die een hoeveelheid nodig heeft om te verdubbelen. De verdubbelingstijd is ongeveer gelijk aan 72 gedeeld door de groei in procenten. Dit wordt geïllustreerd in tabel 2-1.

TABLE 2-1 Doubling Times

Growth Rate (% per year)	Approximate Doubling Times (years)
0.1	720
0.5	144
1.0	72
2.0	36
3.0	24
4.0	18
5.0	14
6.0	12
7.0	10
10.0	7

We kunnen het voorbeeld van Nigeria gebruiken om de gevolgen van aanhoudende verdubbeling te illustreren. Nigeria had in 1950 ongeveer 36 miljoen inwoners. In het jaar 2000 was dat ongeveer 125 miljoen. In de tweede helft van de 20e eeuw is de bevolking van Nigeria bijna verviervoudigd. In het jaar 2000 bedroeg de groei 2,5 procent per jaar.^{Q4} De bij-

behorende verdubbelingstijd was ongeveer 72 gedeeld door 2,5, ofwel ongeveer 29 jaar. Als deze bevolkingsgroei in de toekomst onveranderd zou blijven, zou de bevolking van Nigeria een ontwikkeling doormaken zoals weergegeven in tabel 2-2.

Een Nigeriaans kind dat in het jaar 2000 werd geboren, kwam terecht in een bevolking die vier keer zo groot was als de bevolking van Nigeria in 1950. [049] Als de groei van het land na het jaar 2000 constant blijft en dat kind 87 jaar oud wordt, zal het de bevolking nog eens verachtvoudigen zien worden.

TABLE 2-2 Nigeria's Population Growth, Extrapolated

Year	Population (million people)
2000	125
2029	250
2058	500
2087	1000

Aan het einde van de eenentwintigste eeuw zouden er 8 Nigerianen zijn voor elke 1 in 2000, en 28 voor elke 1 in 1950. Er zouden dan meer dan een miljard mensen in Nigeria wonen!

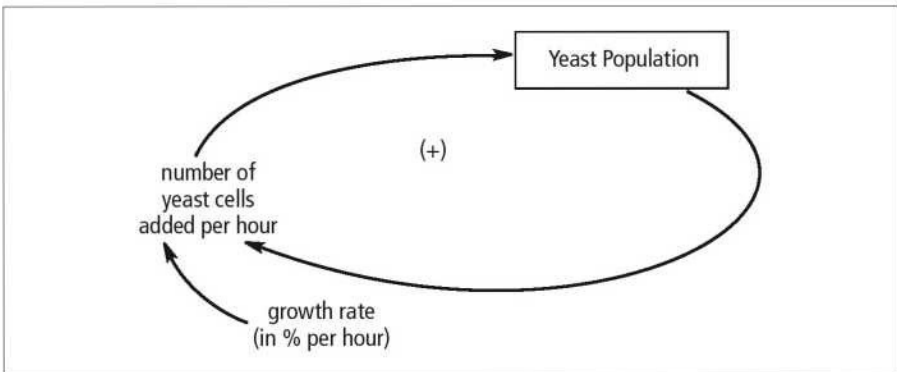
Nigeria is al een van de vele landen die te kampen hebben met honger en milieuvervuiling. Het is duidelijk dat de bevolking niet nog eens acht keer zo groot kan worden! De enige reden om een berekening zoals die in tabel 2-2 te maken, is om de algebra van verdubbelingstijden te illustreren en om aan te tonen dat exponentiële groei nooit lang kan voortduren in een eindige ruimte met eindige hulpbronnen.

Waarom vindt deze groei dan nu plaats in de wereld? En wat kan deze groei stoppen?

Dingen die exponentieel groeien

Exponentiële groei vindt op twee verschillende manieren plaats. Als een entiteit zichzelf voortplant, is exponentiële groei inherent. Als een entiteit wordt aangedreven door iets anders dat exponentieel groeit, dan is de groei ervan afgeleid.

Alle levende wezens, van bacteriën tot mensen, vallen onder de eerste categorie. Wezens worden voortgebracht door wezens. We illustreren de systeemstructuur van een zichzelf voortplantende populatie met een diagram als dit:



Feedbacklus van de groei van de gistpopulatie

[050] De opmaak van het bovenstaande diagram is ontleend aan onze discipline, systeemodynamica, en is vrij nauwkeurig. Het kader rond de gistpopulatie geeft aan dat het om een voorraad gaat, een accumulatie, het netto resultaat van alle

eerdere processen die de gist hebben doen toenemen of afnemen. De pijlen geven oorzakelijke verbanden of invloeden aan, die op vele manieren kunnen worden uitgeoefend. In dit diagram staat de bovenste pijl voor de invloed van fysieke stromen; dit betekent dat nieuwe gistcellen de voorraad, de gistpopulatie, binnenstromen en deze doen toenemen. De onderste pijl staat voor de invloed van informatie; dit betekent dat de omvang van de voorraad van invloed is op de productie van nieuwe gist. Hoe groter de voorraad, hoe meer nieuwe cellen er kunnen worden geproduceerd, zolang er niets verandert in de groeisnelheid. (Er zijn natuurlijk wel factoren die de groeisnelheid beïnvloeden. Voor het gemak zijn deze in dit diagram weggelaten. We komen hier later op terug.)

Het (+) teken in het midden van de lus betekent dat de twee pijlen samen een positieve of bekrachtigende feedbacklus vormen. Een positieve feedbacklus is een keten van oorzaak-gevolgrelaties die in zichzelf sluit en een zichzelf versterkende verandering teweegbrengt. Deze werkt zo dat een verandering in een willekeurig element in de lus gevolgen heeft die zich als een cascade voortzetten langs de keten van causale verbanden, waardoor het oorspronkelijke element uiteindelijk nog meer in dezelfde richting verandert. Een toename zal een verdere toename veroorzaken; een afname zal uiteindelijk een verdere afname veroorzaken.

In de systeemdynamica betekent de titel positieve lus niet noodzakelijkerwijs dat de lus gunstige resultaten oplevert. Het verwijst gewoon naar de versterkende richting van de causale invloed rond de lus. Evenzo leiden negatieve feed-

backlussen, die we straks verder zullen bespreken, niet noodzakelijkerwijs tot ongunstige resultaten. Ze hebben zelfs vaak een stabiliserende werking. Ze zijn negatief in die zin dat ze de causale invloed rond de lus tegengaan, omkeren of in evenwicht brengen.

Een positieve feedbacklus kan functioneren als een ‘positieve spiraal’ of een ‘negatieve spiraal’, afhankelijk van het feit of de groei die deze veroorzaakt gewenst is of niet. Positieve feedback zorgt voor de exponentiële groei van gist in rijzend brood en van geld op uw rentedragende bankrekening. Dat is nuttig. Positieve feedback kan ook verantwoordelijk zijn voor plagen in een landbouwgewas of voor de groei van een verkoudheidsvirus in uw keel. Dat is niet nuttig.

Wanneer een systeemvoorraad in een positieve feedbacklus zit, kan die voorraad exponentieel groeien. Dat betekent niet dat hij ook exponentieel zal groeien, maar wel dat hij daartoe in staat is als hij niet wordt beperkt. Groei kan door veel dingen worden beperkt, zoals een gebrek aan voedingsstoffen (in het geval van gist), lage temperaturen en de aanwezigheid van andere populaties (in het geval van ongedierte), en, in het geval van de menselijke bevolking, prikkels, ontmoedigingen, doelen, rampen, ziekten en verlangens. [051] De groeisnelheid zal in de loop van de tijd variëren en van plaats tot plaats verschillen. Maar de groei van gist, ongedierte of bevolkingsgroepen verloopt exponentieel wanneer deze niet door beperkingen wordt geremd. Ook de voorraad industrieel kapitaal kan een inherente exponentiële groei vertonen.

Machines en fabrieken kunnen gezamenlijk andere machi-

nes en fabrieken maken. Een staalfabriek kan staal maken voor een andere staalfabriek; een fabriek die bouten en moeren maakt, kan bouten en moeren maken waarmee machines worden vastgezet die bouten en moeren maken; elk bedrijf dat winst maakt, genereert geld dat kan worden geïnvesteerd om het bedrijf uit te breiden. Zowel fysiek als monetair kapitaal maakt nog meer kapitaal mogelijk, op de zelfreproducerende, op groei gerichte manier van de industriële economie.

Het is geen toeval dat de industriële wereld is gaan verwachten dat een economie met een bepaald percentage van zichzelf groeit, bijvoorbeeld 3 procent per jaar. Die verwachting is ontstaan uit eeuwenlange ervaring met kapitaal dat meer kapitaal creëert. Het is gebruikelijk geworden om te sparen en te investeren voor de toekomst, om een bepaald deel van de totale productie opzij te zetten in de verwachting dat dit zal worden geïnvesteerd om in de toekomst nog meer productie te genereren. Een economie zal exponentieel groeien wanneer de zelfreproductie van kapitaal niet wordt beperkt door de vraag van consumenten, de beschikbaarheid van arbeidskrachten, grondstoffen, energie, investeringsfondsen of andere factoren die de groei van een complex industrieel systeem kunnen beperken. Net als de bevolking heeft kapitaal een inherente systeemstructuur (een positieve feedbackloop) die exponentiële groei veroorzaakt. Economieën groeien natuurlijk niet altijd, net zomin als bevolkingen. Maar ze zijn wel zo gestructureerd dat ze kunnen groeien, en wanneer ze dat doen, groeien ze exponentieel.

Er zijn veel andere factoren in onze samenleving die expo-

nentiële groei kunnen veroorzaken. Geweld is mogelijk inherent exponentieel en corruptie lijkt zichzelf in stand te houden. Ook klimaatverandering gaat gepaard met verschillende positieve feedbackmechanismen. Zo leidt de uitstoot van broeikasgassen in de atmosfeer tot hogere temperaturen, wat op zijn beurt het smelten van de toendra in het Noordpoolgebied versnelt. Wanneer de toendra ontdooit, komt er methaan vrij dat daar opgesloten zat. Methaan is een krachtig broeikasgas dat de temperatuur op aarde nog verder kan doen stijgen. Sommige positieve feedbackmechanismen zijn expliciet opgenomen in World3. [052] We hebben de krachten gemodelleerd die de vruchtbaarheid van de bodem beïnvloeden. Ook verschillende technologieën lijken exponentieel te groeien; we experimenteren hiermee in hoofdstuk 7. Wij zijn echter van mening dat de groeiprocessen die de bevolking en de industrie beheersen, de belangrijkste krachten zijn geweest die de mondiale samenleving voorbij haar grenzen hebben gedreven, en daar zullen we ons op concentreren.

Bevolking en productief kapitaal zijn de motoren van exponentiële groei in de menselijke samenleving. Andere entiteiten, zoals voedselproductie, grondstoffengebruik en vervuiling, hebben de neiging exponentieel toe te nemen – niet omdat ze zichzelf vermenigvuldigen, maar omdat ze worden aangedreven door bevolking en kapitaal. Er is geen zelfgeneratie, geen positieve feedbackloop die ervoor zorgt dat pesticiden in het grondwater meer pesticiden creëren, of dat steenkool zich ondergronds voortplant en meer steenkool creëert. De fysieke en biologische gevolgen van het verbou-

wen van 6 ton tarwe per hectare maken het niet gemakkelijker om 12 ton per hectare te verbouwen. Op een gegeven moment – wanneer de grenzen zijn bereikt – wordt elke verdubbeling van de voedselproductie of de winning van mineralen niet gemakkelijker, maar moeilijker dan de verdubbeling ervoor.

Voor zover de voedselproductie en het gebruik van materialen en energie exponentieel zijn gegroeid (wat het geval is), is dat dus niet gebeurd door hun eigen structurele capaciteit, maar omdat de exponentieel groeiende bevolking en economie meer voedsel, materialen en energie hebben gevraagd en erin zijn geslaagd die te produceren. Evenzo zijn vervuiling en afval niet toegenomen omdat ze een eigen positieve feedbackstructuur hebben, maar vanwege de stijgende hoeveelheden materialen die worden vervoerd en energie die wordt gebruikt door de menselijke economie.

Een centrale aanname van het World3-model is dat de bevolking en het kapitaal structureel in staat zijn tot exponentiële groei. Dit is geen willekeurige aanname. Ze wordt ondersteund door de waarneembare kenmerken van het mondiale sociaaleconomische systeem en door historische veranderingpatronen. Groei van de bevolking en het kapitaal leidt tot groei van de ecologische voetafdruk van de mens, tenzij of totdat er ingrijpende veranderingen in consumptievoorkeuren en drastische verbeteringen in de efficiëntie van het gebruik van hulpbronnen plaatsvinden. Geen van beide veranderingen heeft zich tot nu toe voorgedaan. De menselijke bevolking en het kapitaal, en de energie- en materiaalstromen die deze in stand houden, zijn al minstens een eeuw ex-

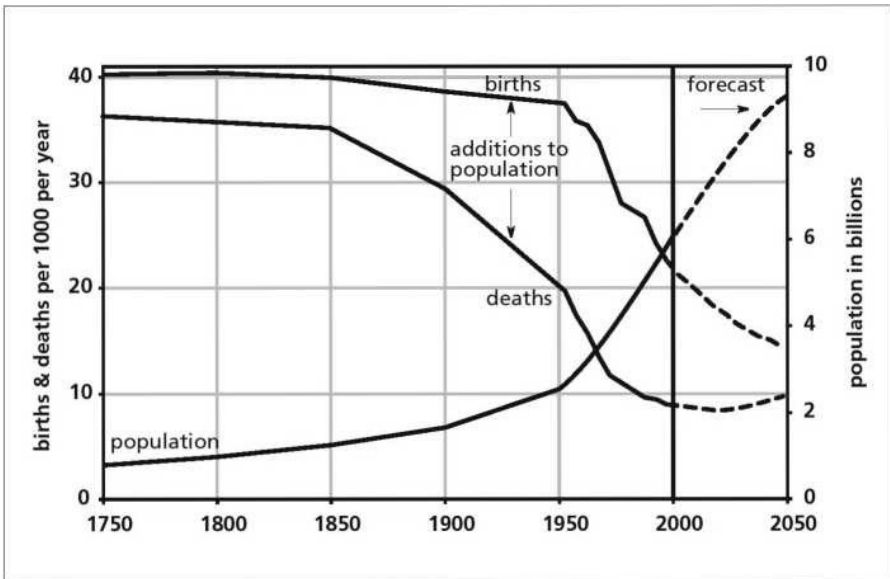
ponentieel gegroeid – zij het niet zonder hobbels, niet zonder problemen en niet zonder sterke invloeden van andere feedbackloops. De wereld is echter complexer dan dat. Dat geldt ook voor het World3-model, zoals we zullen zien.

Wereldbevolkingsgroei

In het jaar 1650 telde de mensheid ongeveer een half miljard mensen. De bevolking groeide met ongeveer 0,3 procent per jaar, waardoor de bevolking in bijna 240 jaar verdubbelde.

In 1900 was de bevolking gegroeid tot 1,6 miljard en groeide deze met 0,7 tot 0,8 procent per jaar, waardoor de bevolking in ongeveer 100 jaar verdubbelde. In 1965 bedroeg de bevolking 3,3 miljard. De groei was gestegen tot 2 procent per jaar, een verdubbelingstijd van ongeveer 36 jaar. De bevolking groeide dus niet alleen exponentieel vanaf 1650, maar zelfs superexponentieel: de groei zelf nam toe. De groei had een gelukkige oorzaak: het sterftecijfer daalde. Het geboortecijfer daalde ook, maar minder snel. Daardoor nam de bevolking sterk toe.

Na 1965 bleef het sterftecijfer dalen, maar het geboortecijfer daalde gemiddeld nog sneller (figuur 2-4). Terwijl de bevolking tussen 1965 en 2000 groeide van 3,3 miljard tot iets meer dan 6 miljard, daalde de groei van 2 naar 1,2 procent per jaar.^{Q6}



FIGUUR 2-4 Demografische transitie in de wereld

Het verschil tussen het aantal geboorten en het aantal sterfgevallen bepaalt de snelheid waarmee de bevolking groeit. Tot ongeveer 1965 daalde het gemiddelde sterftecijfer sneller dan het geboortecijfer, waardoor de bevolkingsgroei toenam. Sinds 1965 is het gemiddelde geboortecijfer sneller gedaald dan het sterftecijfer. Daardoor is de bevolkingsgroei aanzienlijk afgenomen, hoewel de groei exponentieel blijft. (Bron: VN.)

[054] Die ommekeer in de bevolkingsgroei is een verbaazingwekkende verschuiving, die wijst op grote veranderingen in de culturele factoren die mensen ertoe brengen hun gezinsgrootte te kiezen, en in de technische factoren die hen in staat stellen die keuze effectief uit te voeren. Het wereldwijde gemiddelde aantal kinderen per vrouw daalde van 5 in de jaren vijftig tot 2,7 in de jaren negentig. In Europa bedroeg het gemiddelde aantal kinderen per paar aan het begin

van de eenentwintigste eeuw 1,4, aanzienlijk minder dan het aantal dat nodig is om de bevolking in stand te houden.^{Q6} De Europese bevolking zal naar verwachting langzaam afnemen, van 728 miljoen in 1998 tot 715 miljoen in 2025.^{Q7}

Deze daling van de vruchtbaarheid betekent niet dat de totale wereldbevolking niet meer groeit of niet meer exponentieel groeit. Het betekent alleen dat de verdubbelingstijd is verlengd (van 36 jaar bij 2 procent per jaar tot 60 jaar bij 1,2 procent per jaar) en mogelijk nog verder zal verlengen. Het netto aantal mensen dat er in 2000 bij kwam, was zelfs hoger dan in 1965, hoewel de groei lager was. Tabel 2-3 laat zien waarom: het lagere percentage in 2000 werd vermenigvuldigd met een grotere bevolking.

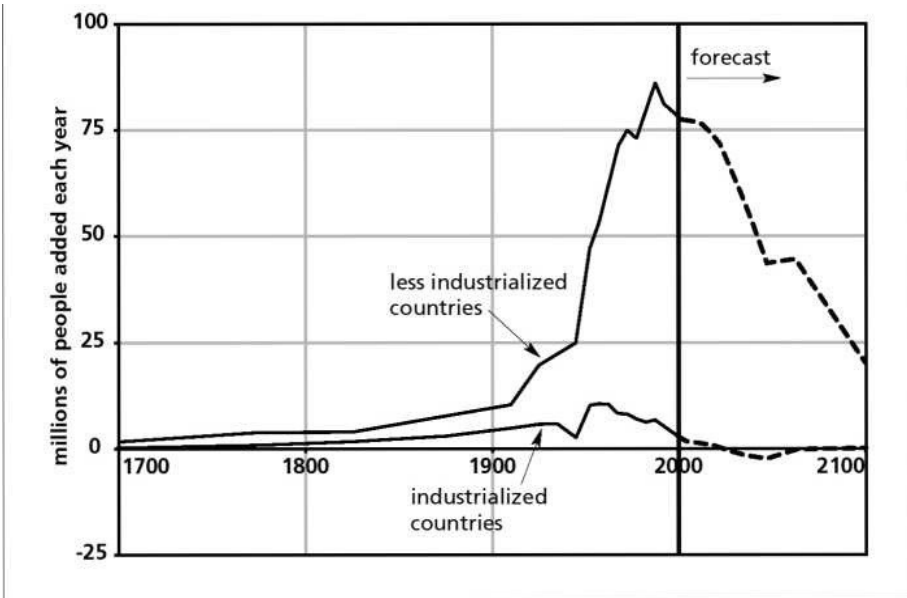
TABLE 2-3 Additions to World Population

Year	Population (million)	x	Growth Rate (% per year)	=	People Added (million per year)
1965	3,330	x	2.03	=	68
1970	3,690	x	1.93	=	71
1975	4,070	x	1.71	=	70
1980	4,430	x	1.70	=	75
1985	4,820	x	1.71	=	82
1990	5,250	x	1.49	=	78
1995	5,660	x	1.35	=	76
2000	6,060	x	1.23	=	75

(Bron: VN.)

De jaarlijkse toename van de wereldbevolking kwam uiteindelijk eind jaren tachtig tot stilstand. Maar de toename van 75 miljoen in 2000 kwam nog steeds overeen met een jaarlijkse toename van meer dan negen keer de bevolking van New York City. Aangezien bijna alle toename plaatsvond in

het zuiden, kwam dit zelfs overeen met een jaarlijkse toename van de totale bevolking van de Filippijnen, of ongeveer tien keer de bevolking van Peking of zes keer die van Calcutta. Zelfs met optimistische prognoses over een verdere daling van het geboortecijfer staat ons nog een grote bevolkingsgroei te wachten, vooral in de minder geïndustrialiseerde landen (figuur 2-5).

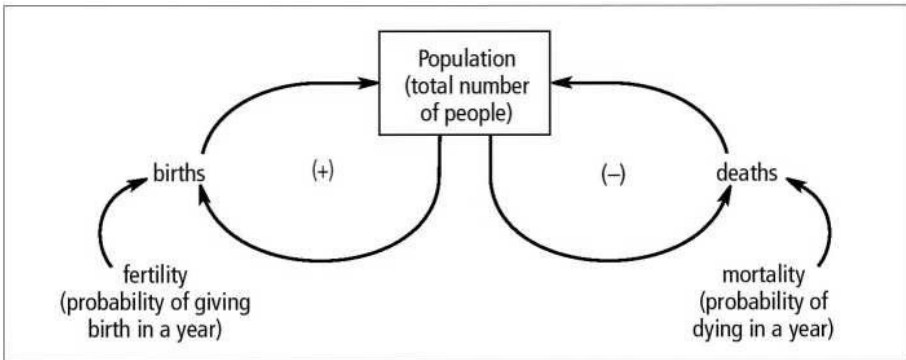


FIGUUR 2-5 Wereldwijde jaarlijkse bevolkingsgroei

Tot voor kort nam het aantal mensen dat elk jaar aan de wereldbevolking werd toegevoegd toe. Volgens de prognoses van de VN zal die jaarlijkse toename binnenkort sterk dalen. Deze prognoses gaan uit van een snelle daling van het geboortecijfer in de minder geïndustrialiseerde landen. (Bron: VN; D. Bogue)

De centrale feedbackstructuur die het bevolkingssysteem regelt, wordt hieronder weergegeven.

Links is de positieve lus te zien die exponentiële groei kan veroorzaken. Hoe groter de bevolking, hoe meer geboorten per jaar.



Rechts is een negatieve feedbacklus te zien. [056] Terwijl positieve lussen een ongebreidelde groei veroorzaken, hebben negatieve lussen de neiging om de groei te reguleren, het systeem binnen een aanvaardbaar bereik te houden of het terug te brengen naar een stabiele toestand waarin de systeemvoorraden in de loop van de tijd min of meer constante waarden hebben. Een negatieve feedbacklus verspreidt de gevolgen van een verandering in één element rond de cirkel totdat ze terugkomen om dat element in een richting tegengesteld aan de oorspronkelijke verandering te veranderen.

Geboortefeedbacklus en sterftefeedbacklus Het aantal sterfgevallen per jaar is gelijk aan de totale populatie maal de gemiddelde sterfte - de gemiddelde kans op overlijden. Het aantal geboorten is gelijk aan de totale populatie maal de gemiddelde vruchtbaarheid. De groeisnelheid van een popula-

tie is gelijk aan de vruchtbaarheid minus de sterfte. Uiteraard zijn vruchtbaarheid en sterfte niet constant. Ze zijn afhankelijk van economische, ecologische en demografische factoren, zoals inkomen, onderwijs, gezondheidszorg, gezinsplanningstechnologieën, religie, vervuilingsniveaus en de leeftijdsopbouw van de bevolking.

De meest gangbare theorie over hoe vruchtbaarheid en sterfte veranderen en waarom de wereldbevolkingsgroei daalt – de theorie die in het World3-model is verwerkt – wordt de demografische transitie genoemd. Volgens deze theorie zijn in pre-industriële samenlevingen zowel de vruchtbaarheid als de sterfte hoog en is de bevolkingsgroei traag. Naarmate de voeding en de gezondheidszorg verbeteren, daalt het sterftecijfer. Het geboortecijfer loopt een generatie of twee achter, waardoor er een kloof ontstaat tussen vruchtbaarheid en sterfte, wat leidt tot een snelle bevolkingsgroei. Uiteindelijk, naarmate het leven en de levensstijl evolueren naar de patronen van een volledig geïndustrialiseerde samenleving, daalt ook het geboortecijfer en vertraagt de bevolkingsgroei.

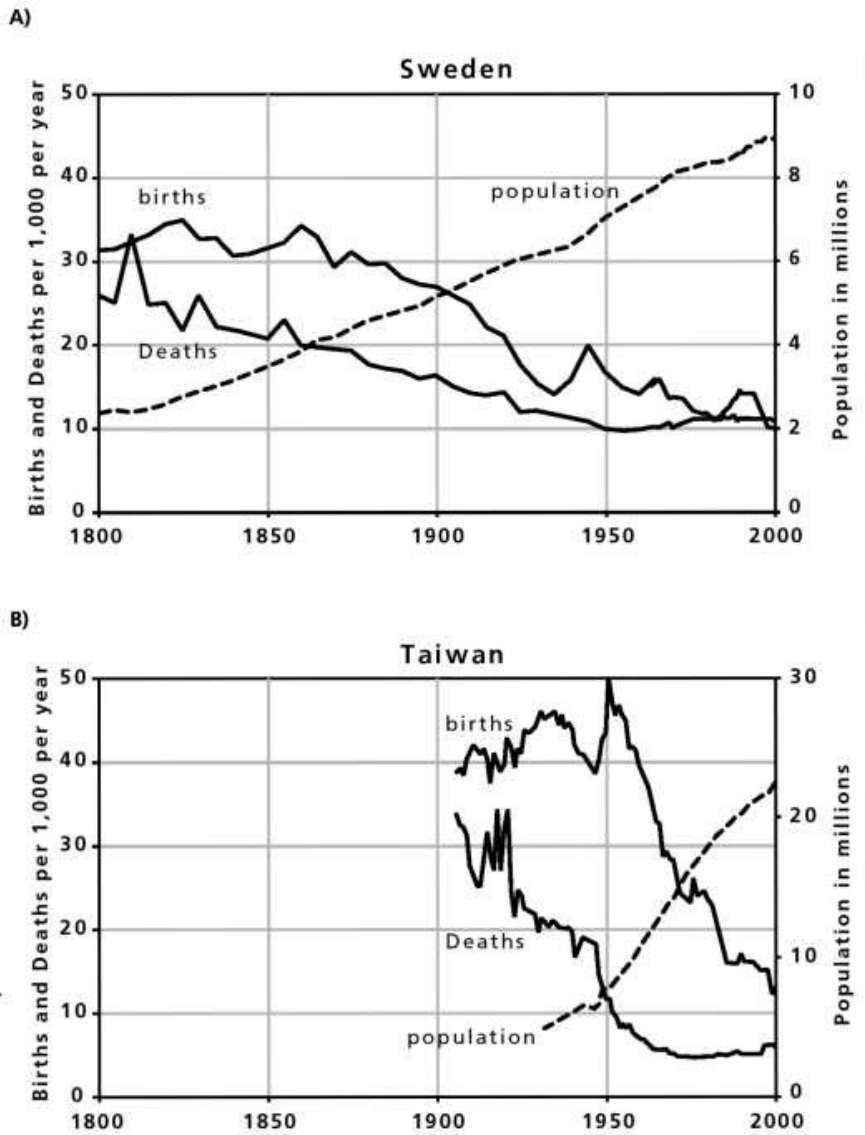
De feitelijke demografische ontwikkeling van zes landen is weergegeven in figuur 2-6. U kunt zien dat het geboorte- en sterftecijfer in lang geïndustrialiseerde landen zoals Zweden zeer langzaam daalde. De kloof tussen beide was nooit erg groot; de bevolking groeide nooit met meer dan 2 procent per jaar. Gedurende de hele demografische transitie is de bevolking van de meeste landen in het noorden met maximaal een factor vijf gegroeid. In het jaar 2000 hadden maar weinig geïndustrialiseerde landen een vruchtbaarheidscijfer boven het vervangingsniveau, waardoor de meeste landen de

komende jaren te maken zullen krijgen met een krimpende bevolking. De landen die nog groeiden, deden dat dankzij immigratie, demografische dynamiek (er kwamen meer jonge mensen in de vruchtbare leeftijd dan dat er ouderen stierven) of beide.

In het Zuiden, waar de sterftcijfers later en sneller daalden, ontstond een grote kloof tussen de geboorte- en sterftcijfers. Dit deel van de wereld heeft te maken gehad met veel hogere bevolkingsgroei dan het Noorden ooit heeft gekend (met uitzondering van Noord-Amerika, dat grote aantallen immigranten uit Europa opnam). De bevolking van veel landen in het Zuiden is al met een factor 10 gegroeid en groeit nog steeds. Hun demografische transitie is nog lang niet voltooid.

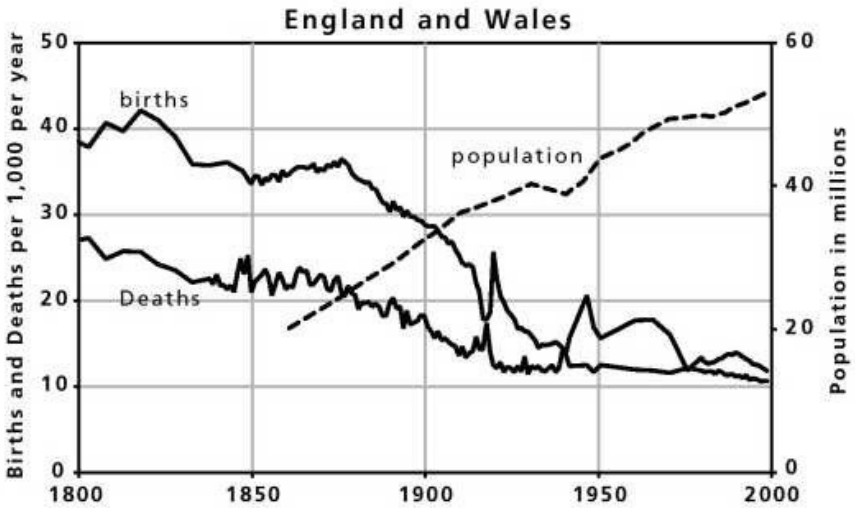
FIGUUR 2-6 Demografische transitie in geïndustrialiseerde landen (A) en in minder geïndustrialiseerde landen (B)

Tijdens de demografische transitie daalt eerst het sterftcijfer van een land, gevolgd door het geboortecijfer. De demografische transitie in Zweden vond plaats over een periode van bijna 200 jaar, waarbij het geboortecijfer vrij dicht bij het sterftcijfer bleef. In deze periode is de bevolking van Zweden minder dan vijf keer zo groot geworden. Japan is een voorbeeld van een land dat deze transitie in minder dan een eeuw heeft doorgevoerd. De minder geïndustrialiseerde landen van het einde van de 20e eeuw hebben veel grotere verschillen tussen hun geboorte- en sterftcijfers gekend dan ooit het geval was in de nu geïndustrialiseerde landen. (Bronnen: N. Keyfitz en W. Flieger; J. Chesnais; VN; PRB; UK ONS; Republiek China.)



FIGUUR 2-6 Demografische transitie in geïndustrialiseerde landen (A) en in minder geïndustrialiseerde landen (B)

A)

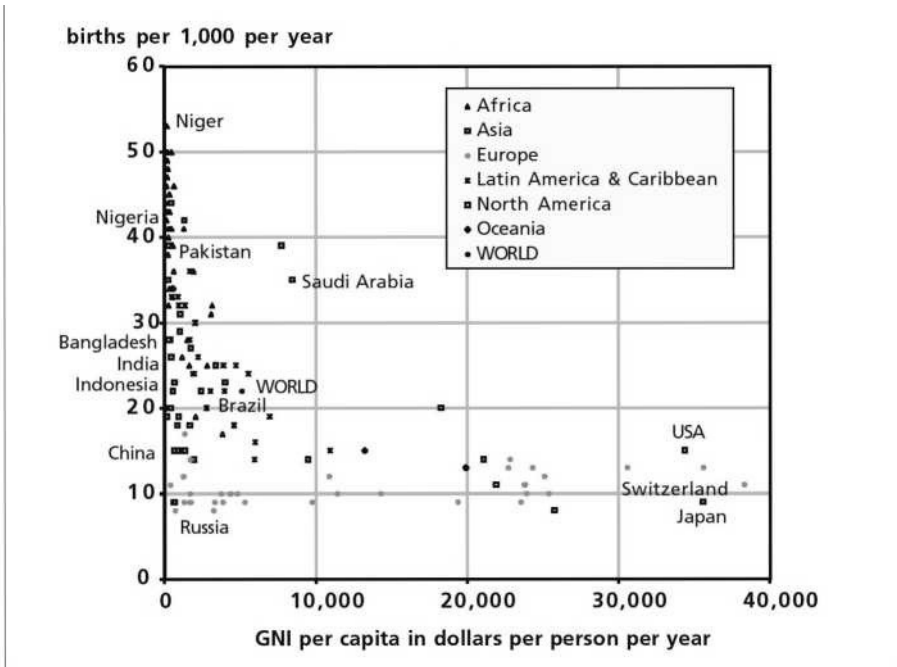


B)



FIGUUR 2-6 Demografische transitie in geïndustrialiseerde landen (A) en in minder geïndustrialiseerde landen (B)

Demografen discussiëren over de vraag waarom er een demografische transitie lijkt te bestaan die verband houdt met industrialisatie. De drijvende factoren zijn complexer dan alleen stijgende inkomens.



FIGUUR 2-7 Geboortecijfers en bruto nationaal inkomen per hoofd van de bevolking in 2001

Naarmate een samenleving rijker wordt, daalt het geboortecijfer van de bevolking. De armste landen hebben een geboortecijfer van 20 tot meer dan 50 geboorten per 1000 inwoners per jaar. Geen van de rijkste landen heeft een geboortecijfer van meer dan 20 per 1000 per jaar. (Bron: PRB; Wereldbank.)

Figuur 2-7 toont bijvoorbeeld de correlatie tussen het inkomen per hoofd van de bevolking (gemeten als het bruto nati-

onaal inkomen, of BNI,8 per persoon per jaar) en het geboortecijfer in verschillende landen van de wereld. Er is duidelijk een sterk verband tussen hoge inkomens en lage geboortecijfers. Even duidelijk is dat er, vooral bij lage inkomens, opvallende uitzonderingen zijn. China heeft bijvoorbeeld een ongewoon laag geboortecijfer voor zijn inkomensniveau. Sommige landen in het Midden-Oosten en Afrika hebben een ongewoon hoog geboortecijfer voor hun inkomensniveau.

[061] De factoren die het meest direct van belang worden geacht voor het verlagen van het geboortecijfer zijn niet zozeer de omvang of de rijkdom van de economie, maar de mate waarin de economische verbetering daadwerkelijk het leven van alle gezinnen, en met name dat van vrouwen, ten goede komt. Belangrijkere voorspellende factoren dan het BNI per hoofd van de bevolking zijn factoren zoals onderwijs en werkgelegenheid (vooral voor vrouwen), gezinsplanning, lage kindersterfte en een relatief egalitaire verdeling van inkomen en kansen.^{Q9} China, Sri Lanka, Costa Rica, Singapore, Thailand, Maleisië en verschillende andere landen hebben aangetoond dat wanneer de meeste gezinnen toegang hebben tot onderwijs, basisgezondheidszorg en gezinsplanning, het geboortecijfer zelfs bij een bescheiden inkomen kan dalen.

Het World3-model bevat veel tegenstrijdige factoren die van invloed zijn op het geboortecijfer. We gaan ervan uit dat een rijkere economie zorgt voor betere voeding en gezondheidszorg, waardoor de sterftcijfers dalen, en dat dit ook de gezinsplanning verbetert en de kindersterfte vermindert, waar-

door het geboortecijfer daalt. We gaan ervan uit dat industrialisatie op de lange termijn en met enige vertraging de gewenste gezinsgrootte vermindert, doordat de kosten voor het opvoeden van kinderen stijgen en de directe economische voordelen voor de ouders afnemen. We gaan ervan uit dat een kortstondige stijging van het inkomen gezinnen in staat stelt meer kinderen te krijgen, binnen het aantal dat zij wensen, en dat een kortstondige stagnatie van het inkomen het tegenovergestelde effect heeft.^{Q10}

Met andere woorden, het model gaat uit van een langdurige demografische transitie, die wordt gemoduleerd door kleine kortstondige reacties op stijgende en dalende inkomens. De neiging van de modelbevolking tot exponentiële groei wordt eerst versterkt en vervolgens getemperd door de druk, kansen, technologieën en normen van de industriële revolutie.

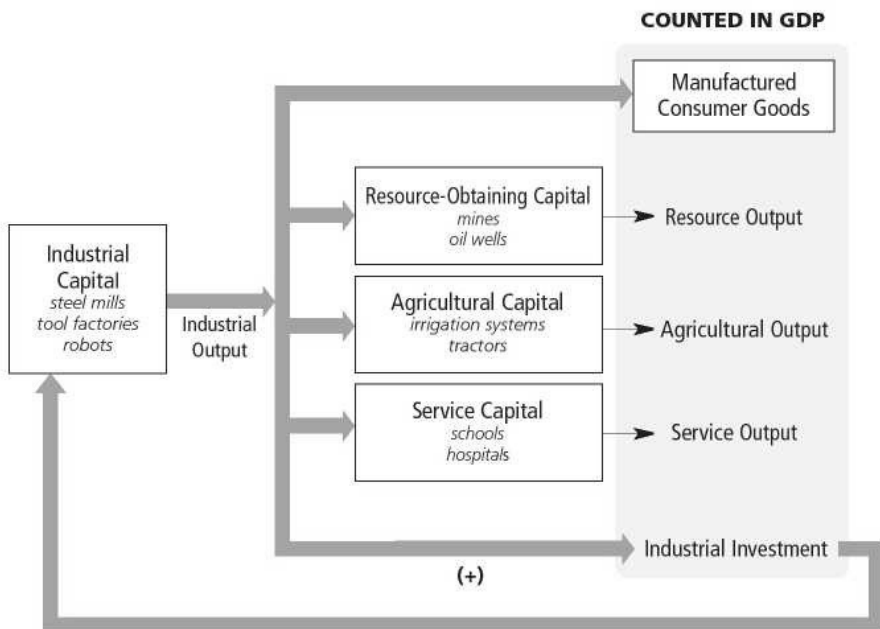
In de “echte wereld” aan het begin van het millennium groeit de bevolking nog steeds exponentieel, hoewel het groeitempo afneemt. De oorzaken van die daling zijn complexer dan het inkomen per hoofd van de bevolking. Economische groei garandeert geen verbetering van het welzijn van de mens, meer keuzevrijheid voor vrouwen of lagere geboortecijfers. Maar het helpt zeker om die doelen te bereiken. Op enkele opmerkelijke uitzonderingen na komen de laagste geboortecijfers inderdaad voor in de rijkste economieën ter wereld. Het is dus dubbel zo belangrijk om de oorzaken en gevolgen van economische groei in het World3-model en in de wereld te begrijpen.

Wereldwijde industriële groei

In het publieke debat over economische kwesties heerst veel verwarring, die grotendeels voortkomt uit een gebrek aan onderscheid tussen geld en de echte dingen waar geld voor staat. We moeten hier zorgvuldig onderscheid maken. Figuur 2-8 laat zien hoe we de economie in World3 weergeven, hoe we er in dit boek over zullen spreken en hoe het volgens ons nuttig is om over de economie na te denken in een tijd van natuurlijke beperkingen. Onze nadruk ligt op de fysieke economie, de echte dingen waarop de grenzen van de aarde van toepassing zijn, niet op de geldeconomie, die een sociale uitvinding is die niet wordt beperkt door de fysieke wetten van de planeet.

Industrieel kapitaal verwijst hier naar de feitelijke hardware: de machines en fabrieken die geproduceerde producten maken. (Uiteraard met behulp van arbeid, energie, materialen, land, water, technologie, financiën, management en de diensten van natuurlijke ecosystemen en biogeochemische stromen van de planeet. We komen in het volgende hoofdstuk terug op deze co-factoren van productie.) De stroom van echte producten (consumptiegoederen en investeringsgoederen) die door industrieel kapitaal worden gemaakt, noemen we industriële output.

Een deel van de industriële output bestaat uit apparatuur of gebouwen voor ziekenhuizen, scholen, banken en winkels. Dat noemen we dienstkapitaal. Dienstkapitaal produceert zijn eigen stroom van output die immaterieel is, maar wel een reële waarde heeft, zoals gezondheidszorg en onderwijs.



FIGUUR 2-8 Stromen van fysiek kapitaal in de economie van World3
De productie en allocatie van industriële output staan centraal in het gedrag van de gesimuleerde economie in World3. De hoeveelheid industrieel kapitaal bepaalt hoeveel industriële output er elk jaar kan worden geproduceerd. Deze output wordt verdeeld over vijf sectoren op een manier die afhankelijk is van de doelstellingen en behoeften van de bevolking. Een deel van het industrieel kapitaal wordt geconsumeerd, een deel gaat naar de grondstoffensector om grondstoffen veilig te stellen. Een deel gaat naar de landbouw om land te ontwikkelen en de opbrengst van het land te verhogen. Een deel wordt geïnvesteerd in sociale diensten en de rest wordt geïnvesteerd in de industrie om de afschrijving te compenseren en het industrieel kapitaal verder te verhogen.

Een ander type industriële output is landbouwkapitaal – tractoren, schuren, irrigatiesystemen, oogstmachines – dat landbouwproducten produceert, voornamelijk voedsel en vezels.

Een deel van de industriële output bestaat uit boormachines, oliebronnen, mijnbouwapparatuur, pijpleidingen, pompen, tankers, raffinaderijen en smelterijen. Dit alles is grondstofwinnend kapitaal, dat de stroom van grondstoffen en energie produceert die nodig is om alle andere soorten kapitaal te laten functioneren.

Een deel van de industriële productie wordt geclassificeerd als consumptiegoederen, zoals kleding, auto's, radio's, koelkasten en huizen. De hoeveelheid consumptiegoederen per persoon is een belangrijke indicator voor het materiële welzijn van de bevolking.

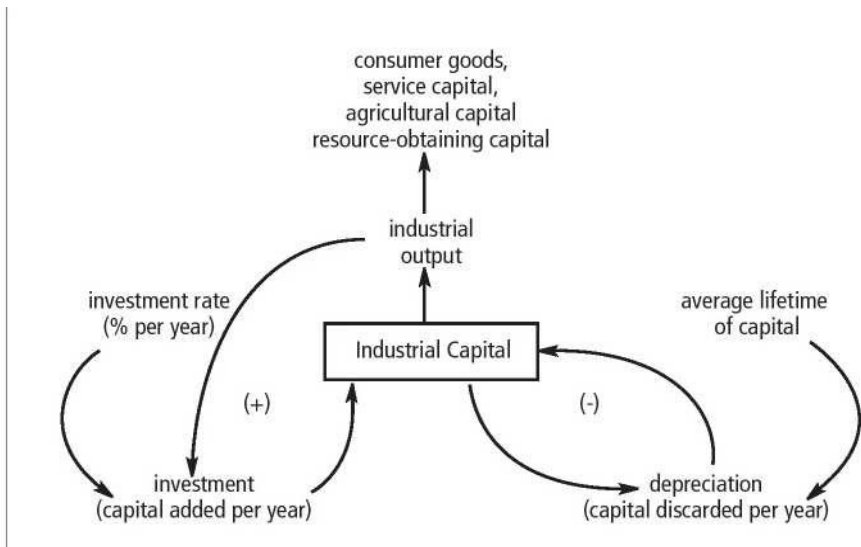
Ten slotte is een deel van de productie in de vorm van industrieel kapitaal. Dit noemen we investeringen: staalfabrieken, elektrische generatoren, draaibanken en andere machines, die de afschrijving compenseren en de voorraad industrieel kapitaal kunnen vergroten, waardoor in de toekomst nog meer kan worden geproduceerd.

Tot nu toe hebben we het alleen gehad over fysieke zaken, niet over geld. De rol van geld in de “echte wereld” is het overbrengen van informatie over de relatieve kosten en waarden van zaken (waarden die worden toegekend door producenten en consumenten die macht hebben op de markt). Geld bemiddelt en motiveert de stromen van fysiek kapitaal en producten. De jaarlijkse geldwaarde van alle fy-

sieke output van eindproducten en diensten, weergegeven in **figuur 2-8**, wordt gedefinieerd als het bbp, het bruto binnenlands product.

We zullen in verschillende figuren en tabellen naar het bbp verwijzen, omdat de economische gegevens van de wereld voornamelijk in geld worden uitgedrukt, niet in fysieke termen. Maar onze interesse gaat uit naar wat het bbp vertegenwoordigt: de werkelijke kapitaalvoorraden, industriële goederen, diensten, hulpbronnen, landbouwproducten en consumptiegoederen. [064] Deze zaken, en niet de dollars, zorgen ervoor dat de economie en de samenleving kunnen functioneren. Deze zaken, en niet de dollars, worden gewonnen uit de aarde en keren uiteindelijk terug naar de aarde via verwijdering in de bodem, de lucht of het water.

We hebben al gezegd dat industrieel kapitaal exponentieel kan groeien door zichzelf te reproduceren.

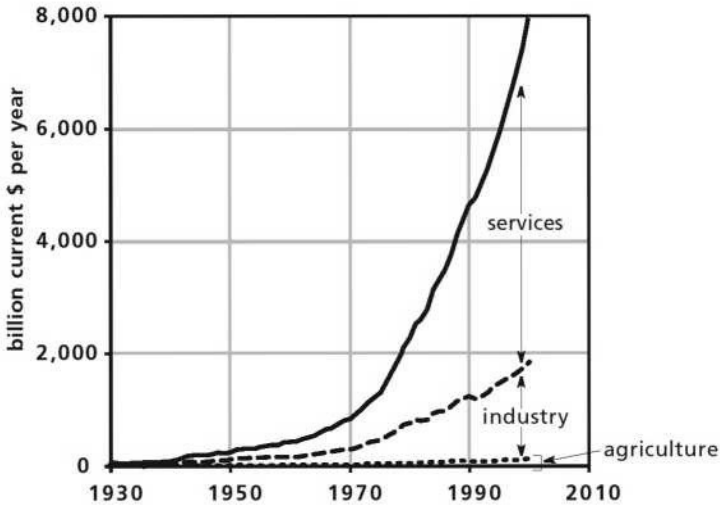


De feedbackstructuur die deze zelfgeneratie weergeeft, is vergelijkbaar met die welke we voor het bevolkingssysteem hebben getekend. Feedbackstructuur van industrieel kapitaal Een bepaalde hoeveelheid industrieel kapitaal (fabrieken, vrachtwagens, computers, energiecentrales) kan elk jaar een bepaalde hoeveelheid geproduceerde output produceren, zolang andere noodzakelijke inputs voldoende zijn.

Een bepaalde hoeveelheid industrieel kapitaal (fabrieken, vrachtwagens, computers, energiecentrales) kan elk jaar een bepaalde hoeveelheid geproduceerde output produceren, zolang andere noodzakelijke inputs voldoende aanwezig zijn. Een bepaald percentage van de jaarlijkse productie bestaat uit investeringen – weefgetouwen, motoren, transportbanden, staal, cement – die worden gebruikt om het kapitaal te vergroten en daarmee de productiecapaciteit voor de toekomst uit te breiden. Dit is het ‘geboortecijfer’ van kapitaal. Het geïnvesteerde deel is variabel, net zoals de vruchtbaarheid van mensen variabel is, afhankelijk van beslissingen, wensen en beperkingen. Er zijn vertragingen in deze positieve feedbackloop, aangezien de planning, financiering en bouwtijd voor een groot kapitaalgoed zoals een spoorweg, elektriciteitscentrale of raffinaderij jaren of zelfs decennia in beslag kunnen nemen.

[065] Kapitaal heeft, net als de bevolking, zowel een ‘sterftecyclustecyclus’ als een ‘geboortecyclustecyclus’. Naarmate machines en fabrieken verslijten of technisch verouderd raken, worden ze stilgelegd, ontmanteld, gerecycled of afgedankt. De kapitaalafschrijving is vergelijkbaar met het sterftecijfer in het bevolkingssysteem. Hoe meer kapitaal er aanwezig is, hoe

meer er elk jaar verslijt, zodat er het volgende jaar minder overblijft, tenzij er voldoende nieuwe investeringen zijn om het afgeschreven kapitaal te vervangen.



FIGUUR 2-9 Bruto nationaal inkomen van de VS per sector

De geschiedenis van de verdeling van de waarde van de economische output van de VS over dienstverlening, industrie en landbouw laat de overgang naar een diensteneconomie zien. Merk op dat hoewel diensten het grootste aandeel van de economie voor hun rekening nemen, de industriële en agrarische sectoren in absolute termen blijven groeien. (Bron: U.S. Bureau of Economic Analysis.)

Net zoals bevolkingen tijdens het industrialisatieproces een demografische transitie doormaken, doorloopt ook het kapitaal van een economie een algemeen waargenomen patroon van groei en verandering. Pre-industriële economieën zijn voornamelijk landbouw- en diensteneconomieën. Wanneer de kapitaalgroEICirkel begint te werken, groeien alle econo-

mische sectoren, maar gedurende een bepaalde periode groeit de industriële sector het snelst. Later, wanneer de industriële basis is gelegd, vindt verdere groei voornamelijk plaats in de dienstensector (zie **figuur 2-9**). Deze overgang is in het World3-model ingebouwd als standaardmodus voor economische groei, tenzij er bewust wijzigingen worden aangebracht om andere mogelijkheden te testen.^{Q12}

Hoogontwikkelde economieën worden soms dienstensectoren genoemd, maar in feite blijven ze een aanzienlijke agrarische en industriële basis nodig hebben. Ziekenhuizen, scholen, banken, winkels, restaurants en hotels maken allemaal deel uit van de dienstensector. Kijk naar de vrachtwagens die hen voedsel, papier, brandstof en apparatuur brengen, of naar de vuilniswagens die hun afval wegvoeren. Meet wat er door hun afvoerpijpen en schoorstenen gaat, en u zult zien dat bedrijven in de dienstensector een constante, forse stroom van fysieke output nodig hebben van de bronnen van de aarde naar de putten van de aarde. Samen met de industrie leveren zij een belangrijke bijdrage aan de ecologische voetafdruk van de mensheid.

Staalfabrieken en mijnen liggen misschien ver van de kantoren van de informatie-economie. De hoeveelheid gebruikte materialen stijgt misschien niet zo snel als de dollarwaarde van de productie. Maar zoals **figuur 2-9** laat zien, neemt zelfs in een “postindustriële” economie de industriële basis niet af. Informatie is een prachtige, waardevolle, immateriële grondstof, maar wordt doorgaans opgeslagen in een desktopcomputer die in 1997 nog bestond uit 55 pond plastic, metaal, glas en silicium, 150 watt elektriciteit verbruikte

en bij de productie ervan 139 pond afval produceerde.^{Q13} De mensen die informatie produceren, verwerken en gebruiken, eten niet alleen voedsel, maar rijden ook auto's, wonen in huizen, werken in verwarmde of gekoelde gebouwen en gebruiken en gooien – zelfs in het tijdperk van elektronische communicatie – stapels papier weg.

De positieve spiraal die de groei van het wereldkapitalsysteem veroorzaakt, heeft ervoor gezorgd dat de industrie sneller groeit dan de bevolking. Tussen 1930 en 2000 is de geldwaarde van de wereldwijde industriële productie met een factor 14 toegenomen (zoals weergegeven in figuur 1-2). Als de bevolking in die periode constant was gebleven, zou de materiële levensstandaard eveneens met een factor 14 zijn gestegen, maar door de bevolkingsgroei is de gemiddelde productie per hoofd van de bevolking met een factor 5 toegenomen. Tussen 1975 en 2000 is de omvang van de industriële economie ongeveer verdubbeld, terwijl de productie per hoofd van de bevolking met slechts ongeveer 30 procent is gestegen.

Meer mensen, meer armoede, meer mensen

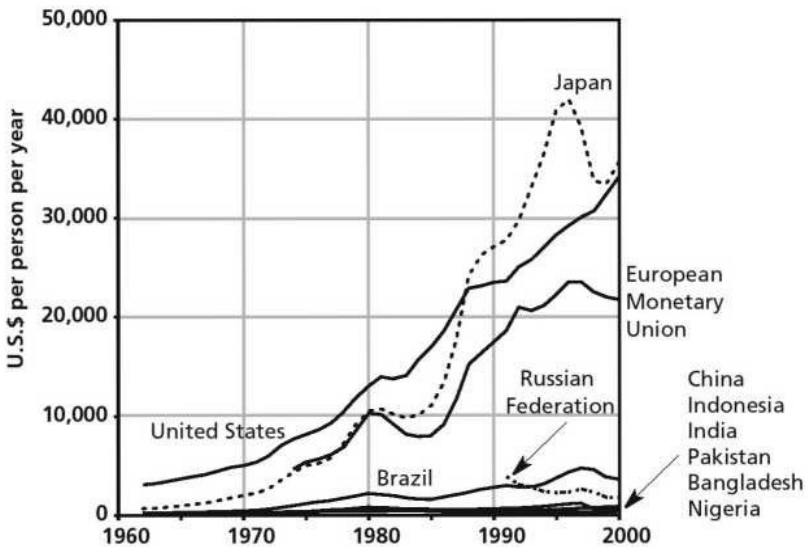
Groei is noodzakelijk om een einde te maken aan armoede. Dat lijkt vanzelfsprekend. Minder vanzelfsprekend voor veel voorstanders is het feit dat groei in het economische systeem, zoals dat momenteel is gestructureerd, geen einde zal maken aan armoede. Integendeel, de huidige groeimodellen houden armoede in stand en vergroten de kloof tussen arm en rijk. In 1998 moest meer dan 45 procent van de wereldbevolking rondkomen van een inkomen van gemiddeld

2 dollar per dag of minder. Dat zijn meer armen dan in 1990, zelfs na een decennium waarin velen een verbazingwekkende inkomensstijging hebben gekend.^{Q14} De veertien-dubbele toename van de industriële productie sinds 1930 heeft sommige mensen zeer rijk gemaakt, maar heeft geen einde gemaakt aan de armoede. Er is geen reden om te verwachten dat een verdere verveertiëring (als dat binnen de grenzen van de aarde mogelijk zou zijn) een einde zou maken aan de armoede, tenzij het mondiale systeem zodanig wordt hervormd dat de groei ten goede komt aan degenen die dat het meest nodig hebben.

In het huidige systeem vindt economische groei over het algemeen plaats in de reeds rijke landen en vloeit deze onevenredig naar de rijkste mensen binnen die landen. Figuur 2-10 toont de groei van het BNI per hoofd van de bevolking voor de tien grootste landen ter wereld (naar bevolkingsaantal) plus de Europese Unie. Ze illustreren hoe decennia van groei de kloof tussen rijke en arme landen systematisch hebben vergroot.

Volgens het Ontwikkelingsprogramma van de Verenigde Naties had in 1960 de 20 procent van de wereldbevolking die in de rijkste landen woonde, 30 keer het inkomen per hoofd van de bevolking van de 20 procent die in de armste landen woonde. In 1995 was de gemiddelde inkomensverhouding tussen de rijkste en de armste 20 procent gestegen van 30:1 tot 82:1. In Brazilië ontving de armste helft van de bevolking in 1960 18 procent van het nationaal inkomen en in 1995 slechts 12 procent. De rijkste 10 procent van de Brazilianen ontving in 1960 54 procent van het nationale in-

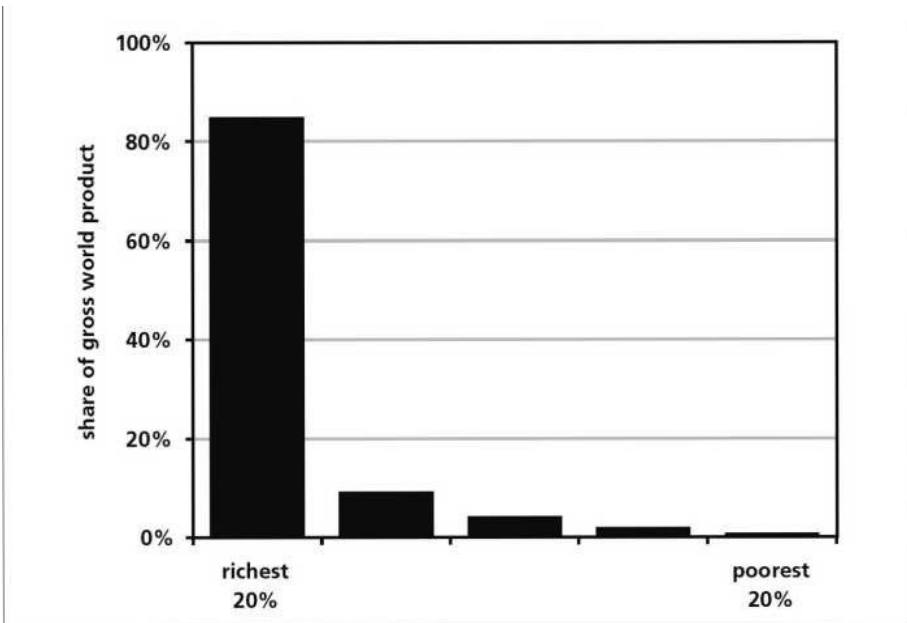
komen, en in 1995 was dat gestegen tot 63 procent.^{Q15} Het gemiddelde Afrikaanse huishouden consumeerde in 1997 20 procent minder dan in 1972.^{Q16} Een eeuw van economische groei heeft de wereld enorme verschillen tussen arm en rijk opgeleverd. Twee indicatoren hiervan, het aandeel in het bruto nationaal product en het aandeel in het energieverbruik van verschillende inkomensgroepen, worden weergegeven in figuur 2-11.



FIGUUR 2-10 BNI per hoofd van de bevolking van de tien meest bevolkte landen en de Europese Monetaire Unie

Economische groei vindt vooral plaats in landen die al rijk zijn. De zes landen Indonesië, China, Pakistan, India, Bangladesh en Nigeria hebben samen bijna de helft van de wereldbevolking. Hun BNI per hoofd van de bevolking stijgt nauwelijks boven de as wanneer deze wordt uitgezet tegen het BNI per hoofd van de bevolking van de rijkere landen. (Bron: Wereldbank.)

Wanneer wij, systeemdynamicici, een patroon zien dat zich gedurende lange tijd in veel delen van een systeem voordoet, gaan we ervan uit dat dit veroorzaakt wordt door de feedbackstructuur van het systeem. Het harder of sneller laten draaien van hetzelfde systeem zal het patroon niet veranderen zolang de structuur niet wordt herzien. De gebruikelijke groei heeft de kloof tussen arm en rijk vergroot. Door op dezelfde voet door te gaan, zal die kloof nooit worden gedicht. Alleen een verandering van de structuur van het systeem – de keten van oorzaken en gevolgen – kan dat bewerkstelligen.



FIGUUR 2-11 Wereldwijde ongelijkheid

De wereldwijde verdeling van rijkdom en kansen is extreem scheef. De rijkste 20 procent van de wereldbevolking bezit meer dan 80 procent van het mondiale bruto product en verbruikt bijna 60 procent van de commerciële energie in de wereld. (Bron: Wereldbank.)

[069] Welke structuur zorgt ervoor dat de kloof tussen arm en rijk zelfs bij enorme economische groei steeds groter wordt? We zien twee algemene structuren aan het werk. De eerste heeft te maken met sociale regelingen – sommige komen in veel culturen voor, andere zijn uniek voor bepaalde culturen – die de bevoorrechten systematisch belonen met de macht en middelen om nog meer privileges te verwerven. Voorbeelden hiervan variëren van openlijke of verborgen etnische discriminatie tot belastingontwijkingsconstructies voor de rijken, van slechte voeding voor kinderen van armen tot eersteklas onderwijs voor kinderen van rijken, van het gebruik van geld om politieke invloed te verwerven, zelfs in zogenaamde democratieën, tot het simpele feit dat rentebetalingen systematisch vloeien van degenen die minder geld hebben dan ze nodig hebben naar degenen die meer hebben dan ze nodig hebben.

In systeemtermen worden deze structuren “feedbackloops van succes voor de succesvollen” genoemd. Het zijn positieve loops die succesvolle mensen belonen met de middelen om succesvol te zijn. Ze komen vaak voor in elke samenleving die niet bewust tegenwicht biedt om het speelveld gelijk te maken. (Voorbeelden van tegenwicht biedende structuren zijn antidiscriminatiewetten, belastingtarieven die stijgen naarmate iemand rijker wordt, universele normen voor onderwijs en gezondheidszorg, “vangnetten” om mensen in moeilijke tijden te ondersteunen, vermogensbelasting en democratische processen die de politiek scheiden van de invloed van geld.)

Geen van deze “succes voor de succesvollen”-kringen komt

expliciet tot uiting in het World3-model. World3 is geen model van de dynamiek van inkomens-, vermogens- of machtsverdeling; het richt zich op de totale relatie tussen de wereldeconomie en de grenzen van de groei.^{Q18} Het gaat dus uit van een voortzetting van de huidige verdelingspatronen.

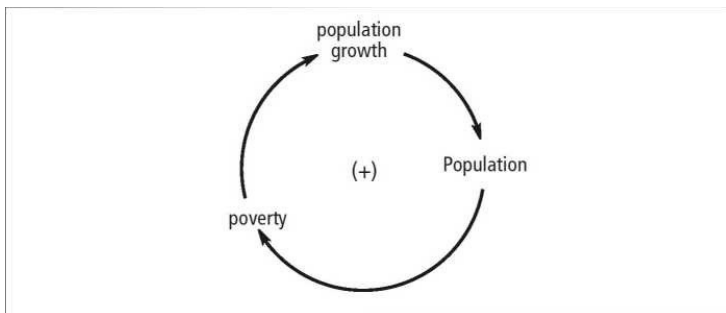
Er is echter één structuur in World3 die de verbanden tussen de bevolkings- en kapitaalsystemen weergeeft zoals we die in dit hoofdstuk hebben beschreven. Deze structuur houdt armoede, bevolkingsgroei en de neiging van het wereldsysteem om zijn grenzen te overschrijden in stand. Zoals we in latere hoofdstukken zullen aantonen, moet deze structuur worden veranderd als we een duurzame wereld willen bereiken.

Deze armoede in stand houdende structuur komt voort uit het feit dat het voor rijke bevolkingsgroepen gemakkelijker is om te sparen, te investeren en hun kapitaal te vermenigvuldigen dan voor arme bevolkingsgroepen. [045] Niet alleen hebben de rijken meer macht om de marktomstandigheden te beheersen, nieuwe technologieën aan te schaffen en over hulpbronnen te beschikken, maar door eeuwen van groei hebben zij ook een grote voorraad kapitaal opgebouwd die zichzelf vermenigvuldigt. Aan de meeste basisbehoeften is voldaan, zodat relatief hoge investeringspercentages mogelijk zijn zonder de huidige bevolking van essentiële zaken te beroven. Door de lage bevolkingsgroei kan meer productie worden besteed aan het realiseren van economische groei en minder aan het voorzien in de gezondheids- en onderwijsbehoeften van een snel groeiende bevolking.

In arme landen daarentegen heeft de kapitaalgroei moeite

om de bevolkingsgroei bij te houden. Productie die zou kunnen worden geherinvesteerd, is eerder nodig om scholen en ziekenhuizen te financieren en in de basisbehoeften te voorzien. Omdat de directe behoeften weinig ruimte laten voor industriële investeringen, groeit de economie slechts langzaam. De demografische transitie blijft steken in de middenfase, met een grote kloof tussen het geboorte- en sterftecijfer. Wanneer vrouwen geen aantrekkelijke alternatieven voor het krijgen van kinderen zien op het gebied van onderwijs of economie, zijn kinderen een van de weinige beschikbare investeringen; daardoor groeit de bevolking zonder dat ze rijker wordt. Zoals het gezegde luidt: “De rijken worden rijker en de armen krijgen kinderen.”

Internationale bijeenkomsten kunnen verlamd raken door verhitte discussies over welke pijl in deze feedbackloop het belangrijkste is: armoede veroorzaakt bevolkingsgroei, of bevolkingsgroei veroorzaakt armoede.



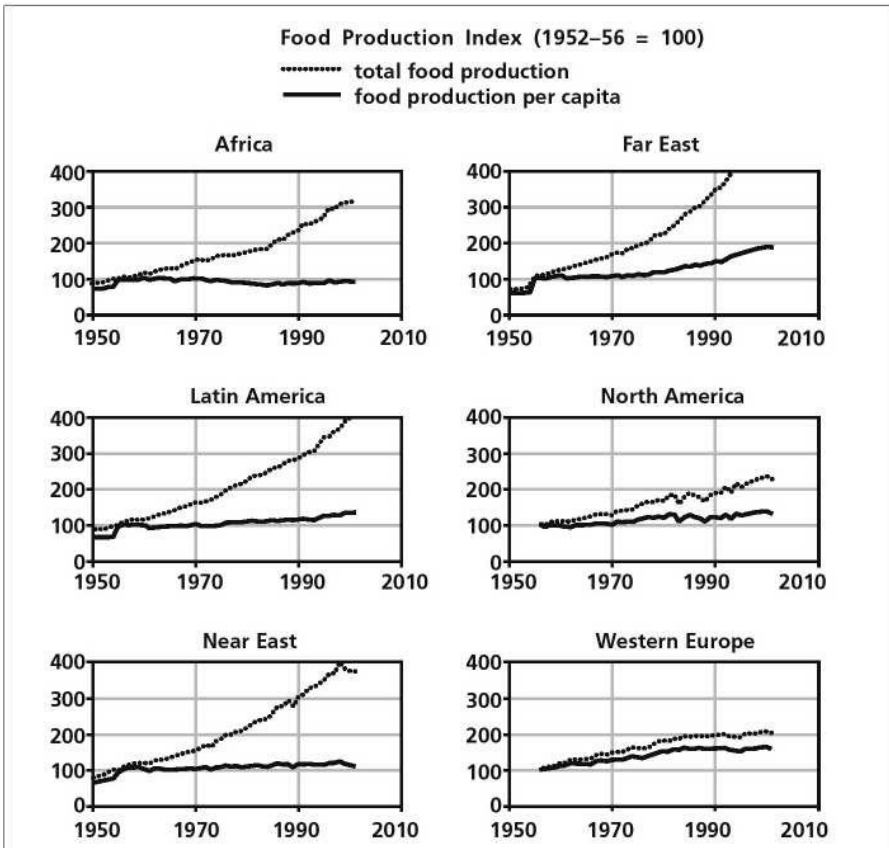
Armoede en bevolking

In feite hebben alle onderdelen van deze positieve feedbackloop een sterke invloed op het gedrag van bevolkingsgroei-

pen in armere gebieden. Ze vormen een “systeemval”, een vicieuze cirkel die de armen nog armer maakt en de bevolking blijft groeien. Door output weg te halen bij investeringen en naar consumptie te leiden, vertraagt de bevolkingsgroei de kapitaalgroei. Armoede houdt op haar beurt de bevolkingsgroei in stand door mensen in omstandigheden te houden waarin ze geen onderwijs, geen gezondheidszorg, geen gezinsplanning, geen keuzes, geen macht en geen mogelijkheden hebben om vooruit te komen, behalve te hopen dat hun kinderen inkomen kunnen genereren of kunnen helpen met het werk in het gezin.

Een gevolg van deze val is te zien in **figuur 2-12**. De voedselproductie in alle delen van het Zuiden is de afgelopen twintig jaar sterk gestegen. Op de meeste plaatsen is deze verdubbeld of verdrievoudigd. Maar door de snelle bevolkingsgroei is de voedselproductie per persoon nauwelijks verbeterd en in Afrika is deze gestaag gedaald. De enige plaatsen waar de voedselproductie merkbaar voorop is gebleven op de bevolkingsgroei zijn Europa en het Verre Oosten.

De grafieken in **figuur 2-12** laten een dubbele tragedie zien. De eerste is een menselijke tragedie. Een grote prestatie op landbouwgebied, een enorme toename van de voedselproductie, is grotendeels niet gebruikt om mensen beter te voeden, maar om meer mensen onvoldoende te voeden. De tweede tragedie is ecologisch. De toename van de voedselproductie is bereikt door beleid dat de bodem, het water, de bossen en ecosystemen heeft aangetast, een prijs die toekomstige productiestijgingen zal bemoeilijken.



FIGUUR 2-12 Regionale voedselproductie

De index van de totale voedselproductie (index = 100 in 1952-1956) is in de afgelopen vijftig jaar verdubbeld of verdrievoudigd in de regio's van de wereld waar de honger het grootst is, maar de index van de voedselproductie per persoon is in die gebieden nauwelijks veranderd omdat de bevolking bijna even snel is gegroeid. In het geval van Afrika is de voedselproductie per hoofd van de bevolking tussen 1996 en 2001 met 9 procent gedaald. (Bron: FAO.)

Maar elke positieve feedbackloop die een systeem afbreekt, kan worden omgebogen om het systeem te versterken. Meer armoede betekent meer bevolking, wat weer meer armoede betekent. Maar minder armoede betekent een langzamere bevolkingsgroei, wat weer minder armoede betekent. Met voldoende investeringen gedurende een voldoende lange periode, met eerlijke prijzen voor producten en arbeid, met een veel directere besteding van de toenemende productie aan de armen, en met name aan onderwijs en werkgelegenheid voor vrouwen en aan gezinsplanning, kunnen de effecten van de vicieuze cirkel van bevolkingsgroei en armoede worden omgebogen. Sociale verbeteringen kunnen de bevolkingsgroei verminderen. Dat maakt meer investeringen in industrieel kapitaal mogelijk, waardoor meer goederen en diensten kunnen worden geproduceerd. Een stijgende consumptie van goederen en diensten helpt de bevolkingsgroei nog verder te verminderen.

In delen van de wereld waar zorgvuldig wordt gelet op het welzijn van de hele bevolking, en met name van de armen, vindt die ommekeer plaats. Dit is een van de redenen waarom de wereldbevolkingsgroei daalt en de demografische transitie vordert.

[072] Maar op andere plaatsen, waar ongelijkheid cultureel endemisch is, waar de middelen of de wil om te investeren in het algemeen welzijn ontbreken, of waar monetaire mislukkingen hebben geleid tot het opleggen van “structurele aanpassingen” die investeringen in onderwijs en gezondheidszorg omleiden, is er geen sprake van een algemene verbetering van het leven van de bevolking. Deze bevol-

kingsgroepen, die in armoede leven en nog steeds snel groeien, lopen een groot risico dat hun groei niet door dalende geboortecijfers, maar door stijgende sterftcijfers wordt afgeremd. Zimbabwe, Botswana, Namibië, Zambia en Swaziland zullen naar verwachting in het begin van de 21e eeuw een nulgroei bereiken om een tragische reden: de dood van jonge volwassenen en kinderen als gevolg van aids.^{Q19}

[073] Exponentiële groei van de bevolking en de industriële productie is ingebouwd in de zichzelf genererende structuur van het sociaaleconomische systeem van de “echte wereld”, maar op een gecompliceerde manier die ertoe neigt dat sommige delen van de wereld naar een langzame bevolkingsgroei en een snelle industriële groei neigen, en andere delen naar een langzame industriële groei en een snelle bevolkingsgroei. Maar in beide gevallen blijven de bevolking en het fysieke kapitaal groeien.

Kan deze fysieke groei realistisch gezien voor altijd doorgaan? Ons antwoord is nee! Bevolkingsgroei en kapitaalgroei vergroten de ecologische voetafdruk van de mensheid, de druk die de mensheid op het ecosysteem van de wereld uitoefent, tenzij er succesvolle inspanningen worden geleverd om een dergelijke toename te voorkomen. In principe is het mogelijk om de ecologische voetafdruk van elke eenheid menselijke activiteit (door middel van technologische en andere middelen) snel genoeg te verkleinen om een voortdurende groei van de bevolking en het industriële kapitaal mogelijk te maken. Maar wij geloven niet dat dit in de praktijk haalbaar is. Het empirische bewijs dat vandaag de dag wereldwijd beschikbaar is, toont aan dat er onvoldoende

vermindering plaatsvindt. De ecologische voetafdruk blijft groeien (zie figuur P-I in het voorwoord van de auteurs), zij het in een langzamer tempo dan de economie.

Zodra de voetafdruk het duurzame niveau heeft overschreden, zoals nu al het geval is, moet deze uiteindelijk weer dalen – hetzij door een gecontroleerd proces (bijvoorbeeld door een snelle toename van de eco-efficiëntie), hetzij door de werking van de natuur (bijvoorbeeld door een afnemend gebruik van hout naarmate bossen verdwijnen). Het staat buiten kijf dat de groei van de ecologische voetafdruk zal stoppen; de enige vragen zijn wanneer en op welke manier.

De bevolkingsgroei zal in wezen tot stilstand komen, hetzij doordat het geboortecijfer verder daalt, hetzij doordat het sterftcijfer begint te stijgen, of beide. De industriële groei zal in wezen tot stilstand komen, hetzij doordat de investeringsgraad daalt, hetzij doordat de afschrijvingen beginnen te stijgen, of beide. Als we op deze trends anticiperen, kunnen we er op rationele wijze enige controle op uitoefenen en de beste van de beschikbare opties kiezen. Als we ze negeren, zullen de natuurlijke systemen een uitkomst kiezen zonder rekening te houden met het welzijn van de mens.

Het geboorte- en sterftcijfer, de investerings- en afschrijvingspercentages zullen in evenwicht worden gebracht door menselijke keuzes of door feedback van overbelaste bronnen en putten op aarde. De exponentiële groeicurves zullen vertragen, afvlakken en vervolgens stabiliseren of dalen. De toestand van de menselijke samenleving en de planeet zou op dat moment rampzalig kunnen zijn.

[074] Het is veel te gemakkelijk om dingen als “slecht” of “goed” te classificeren en die classificaties vast te houden. Generaties lang werden zowel bevolkingsgroei als kapitaal-groei als onverdeeld goed beschouwd. Op een dunbevolkte planeet met overvloedige hulpbronnen waren er goede redenen voor die positieve beoordeling. Nu we steeds meer inzicht krijgen in de ecologische grenzen, kan het verleidelijk zijn om alle groei als slecht te bestempelen.

Het beheer in een tijdperk van beperkingen vereist meer subtiliteit en een zorgvuldiger classificatie. Sommige mensen hebben dringend behoefte aan meer voedsel, onderdak en materiële goederen. Sommige mensen, in een ander soort wanhoop, proberen materiële groei te gebruiken om andere behoeften te bevredigen, die ook zeer reëel zijn, maar niet-materieel van aard, zoals behoefte aan acceptatie, eigenwaarde, gemeenschap en identiteit. Het heeft daarom geen zin om over groei te spreken met onvoorwaardelijke goedkeuring of onvoorwaardelijke afkeuring. In plaats daarvan is het noodzakelijk om te vragen: groei van wat? Voor wie? Tegen welke prijs? Betaald door wie? Wat is hier de werkelijke behoefte en wat is de meest directe en efficiënte manier voor degenen die die behoefte hebben om daarin te voorzien? Hoeveel is genoeg? Wat zijn de verplichtingen om te delen?

De antwoorden op die vragen kunnen de weg wijzen naar een toereikende en rechtvaardige samenleving. Andere vragen zullen de weg wijzen naar een duurzame samenleving. Hoeveel mensen kunnen worden voorzien met een bepaalde doorstroomstroom binnen een bepaalde ecologische voetaf-

druk? Op welk niveau van materiaalverbruik? Voor hoe lang? Hoe zwaar wordt het fysieke systeem dat de menselijke bevolking, de economie en alle andere soorten ondersteunt, belast? Hoe veerkrachtig is dat ondersteunende systeem ten opzichte van welke soorten en hoeveelheden belasting? Hoeveel is te veel?

Om die vragen te beantwoorden, moeten we onze aandacht verleggen van de oorzaken van groei en ons concentreren op de grenzen van groei. Dat is ons doel voor hoofdstuk 3.

HOOFDSTUK – 3

DE GRENZEN: BRONNEN EN PUTTEN

De technologieën die we hebben toegepast om de kosten van grondstoffen in dollars constant of dalend te houden, vereisten vaak steeds grotere hoeveelheden directe en indirecte brandstof ... deze luxe wordt een kostbare noodzaak, waardoor een steeds groter deel van ons nationaal inkomen naar de grondstofverwerkende sectoren moet worden gesluisd om dezelfde hoeveelheid grondstoffen te kunnen leveren.

-WERELDCOMMISSIE VOOR MILIEU EN ONTWIKKELING, 1987

Onze bezorgdheid over een ineenstorting komt niet voort uit de overtuiging dat de wereld op het punt staat de energie- en grondstoffenvoorraden van de planeet uit te putten. Elk scenario van World3 laat zien dat de wereld in het jaar 2100 nog steeds over een aanzienlijk deel van de hulpbronnen beschikt die zij in het jaar 1900 had. Bij het analyseren van de prognoses van World3 komt onze bezorgdheid veeleer voort uit de stijgende kosten van de exploitatie van de bronnen en putten van de aarde. De gegevens over deze kosten zijn ontoereikend en er is veel discussie over dit onderwerp. Maar op basis van de beschikbare gegevens concluderen wij dat

de groei van de oogst van hernieuwbare hulpbronnen, de uitputting van niet-hernieuwbare materialen en het vullen van de putten langzaam maar zeker samen leiden tot een stijging van de hoeveelheid energie en kapitaal die nodig is om de kwantiteit en kwaliteit van de materiaalstromen die de economie nodig heeft, in stand te houden. Die kosten zijn het gevolg van een combinatie van fysieke, ecologische en sociale factoren. Uiteindelijk zullen ze zo hoog worden dat de groei van de industrie niet langer kan worden volgehouden. Wanneer dat gebeurt, zal de positieve feedbackloop die de expansie van de materiële economie heeft veroorzaakt, omkeren en zal de economie beginnen te krimpen.

We kunnen deze bewering niet bewijzen. We kunnen proberen haar aannemelijk te maken en vervolgens wijzen op de aard van constructieve reacties. Om dat in dit hoofdstuk te bereiken, presenteren we een grote hoeveelheid informatie over bronnen en putten. [076] We vatten de situatie en de vooruitzichten samen voor een verscheidenheid aan hulpbronnen die nodig zullen zijn om de wereldwijde economische groei en bevolkingsgroei in de komende eeuw in stand te houden. De lijst van noodzakelijke inputs is lang en divers, maar kan in twee hoofdcategorieën worden onderverdeeld.

De eerste categorie omvat de fysieke benodigdheden die alle biologische en industriële activiteiten ondersteunen: vruchtbare grond, mineralen, metalen, energie en de ecologische systemen van de planeet die afvalstoffen absorberen en het klimaat reguleren. Deze ingrediënten zijn in principe tastbare, telbare zaken, zoals hectaren landbouwgrond en bossen,

kubieke kilometers zoet water, tonnen metalen, miljarden vaten aardolie. In de praktijk zijn deze ingrediënten echter bijzonder moeilijk te kwantificeren. Hun totale hoeveelheid is onzeker. Ze staan in wisselwerking met elkaar: sommige kunnen andere vervangen, terwijl de productie van sommige het moeilijker maakt om andere te verkrijgen. De definities van hulpbronnen, reserves, consumptie en productie zijn inconsistent; de wetenschap is onvolledig en bureaucratieën verdraaien of verbergen vaak de cijfers voor hun eigen politieke en economische doeleinden. Informatie over fysieke realiteiten wordt doorgaans uitgedrukt in economische indices, zoals monetaire prijzen. Prijzen worden bepaald op markten en volgen een reeks regels die heel anders zijn dan die welke gelden voor fysieke hulpbronnen. Niettemin zullen we ons in dit hoofdstuk concentreren op deze fysieke behoeften.

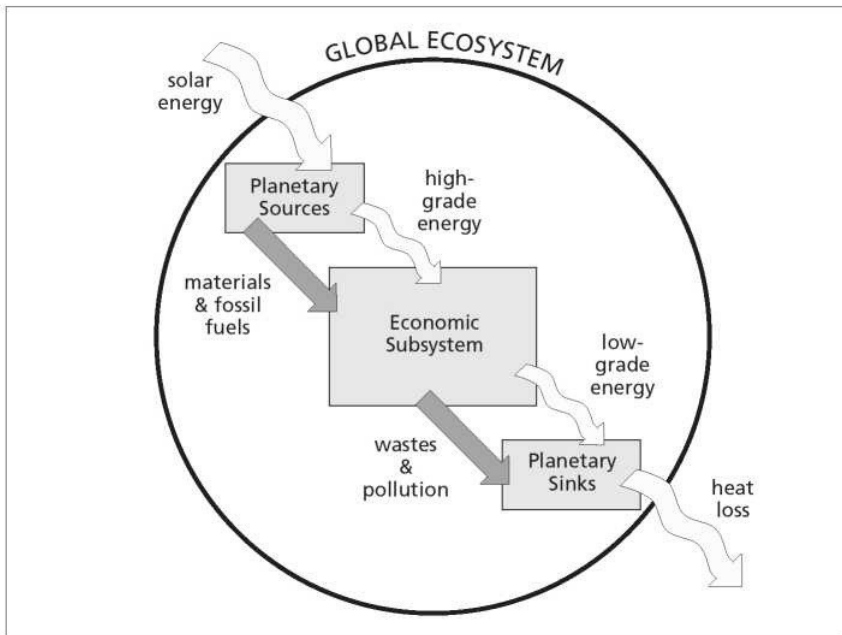
De tweede categorie vereisten voor groei bestaat uit de sociale behoeften. Zelfs als de fysieke systemen van de aarde in staat zijn om een veel grotere, meer industrieel ontwikkelde bevolking te ondersteunen, zal **de werkelijke groei** van de economie en de bevolking afhangen van factoren als vrede en sociale stabiliteit, rechtvaardigheid en persoonlijke veiligheid, eerlijke en vooruitziende leiders, onderwijs en openheid voor nieuwe ideeën, de bereidheid om fouten toe te geven en te experimenteren, en de institutionele basis voor gestage en passende technische vooruitgang.

Deze sociale factoren zijn moeilijk te beoordelen en waarschijnlijk onmogelijk met enige bruikbare nauwkeurigheid te voorspellen. **Noch dit boek, noch World3 gaat expliciet**

en op een gedetailleerde, bruikbare manier in op deze sociale factoren. We beschikken niet over de gegevens en causale theorieën die nodig zijn om ze in onze formele analyse op te nemen. Maar we weten dat vruchtbare grond, voldoende energie, noodzakelijke hulpbronnen en een gezond milieu weliswaar noodzakelijk zijn voor groei, maar niet voldoende. Zelfs als ze fysiek in overvloed aanwezig zijn, kan hun beschikbaarheid worden beperkt door sociale problemen. We gaan er hier echter van uit dat de best mogelijke sociale omstandigheden zullen heersen.

[078] De materialen en energie die door de bevolking en de kapitaalinstallaties worden gebruikt, komen niet uit het niets. Ze worden gewonnen uit de planeet. En ze verdwijnen niet. Wanneer hun economisch nut is uitgeput, worden materialen gerecycled of worden ze afval en verontreinigende stoffen; energie gaat verloren als onbruikbare warmte. Stroom van materialen en energie vloeien vanuit de bronnen op aarde via het economische subsysteem naar de putten op aarde, waar afvalstoffen en verontreinigende stoffen terechtkomen (**figuur 3-1**). Recycling en schonere productie kunnen de hoeveelheid afval en verontreiniging per verbruikseenheid drastisch verminderen, maar nooit volledig elimineren. Mensen zullen altijd voedsel, water, schone lucht, onderdak en allerlei soorten materialen nodig hebben om te groeien, een gezond lichaam te behouden, een productief leven te leiden en zowel kapitaal als nieuwe mensen voort te brengen. Machines en gebouwen zullen altijd energie, water, lucht en een verscheidenheid aan metalen, chemicaliën en

biologische materialen nodig hebben om goederen en diensten te produceren, te worden gerepareerd en om meer machines en gebouwen te maken. Er zijn grenzen aan de snelheid waarmee de bronnen deze stromen kunnen produceren en de putten kunnen absorberen zonder schade toe te brengen aan mensen, de economie of de regeneratie- en reguleringsprocessen van de aarde.



FIGUUR 3-1 Bevolking en kapitaal in het mondiale ecosysteem
Bevolking en kapitaal worden in stand gehouden door stromen van brandstoffen en niet-hernieuwbare hulpbronnen uit de aarde, en ze produceren uitstroom van warmte en afval, die de lucht, het water en de bodem van de aarde vervuilen. (Bron: R. Goodland, H. Daly en S. El Serafy)

De aard van deze grenzen is complex, omdat de bronnen en putten zelf deel uitmaken van een dynamisch, onderling verbonden systeem dat in stand wordt gehouden door de biogeochemische cycli van de planeet. Er zijn kortetermijngrenzen (bijvoorbeeld de hoeveelheid geraffineerde olie die in opslagtanks ligt) en langetermijngrenzen (de hoeveelheid toegankelijke olie in de grond). Bronnen en putten kunnen op elkaar inwerken en hetzelfde natuurlijke systeem kan zowel als bron als put fungeren. Een stuk grond kan bijvoorbeeld een bron zijn voor voedselgewassen en een put voor zure regen als gevolg van luchtvervuiling. Het vermogen om een van deze functies te vervullen, kan afhangen van de mate waarin het de andere functie vervult.

Econoom Herman Daly heeft drie eenvoudige regels voorgesteld om de duurzame grenzen van de materiaal- en energiestroom te helpen definiëren:'

- Voor een hernieuwbare hulpbron – bodem, water, bos, vis – mag het duurzame gebruik niet groter zijn dan de snelheid waarmee de bron zich vernieuwt. (Zo wordt vis bijvoorbeeld op een niet-duurzame manier gevangen wanneer de vangst groter is dan de groeisnelheid van de resterende vispopulatie.)
- Voor niet-hernieuwbare hulpbronnen – fossiele brandstoffen, hoogwaardige ertsen, fossiel grondwater – mag het duurzame gebruik niet groter zijn dan de snelheid waarmee deze hulpbronnen kunnen worden vervangen door hernieuwbare hulpbronnen die op duurzame wijze worden gebruikt. (Een olieveld zou bijvoorbeeld duurzaam worden gebruikt als een deel van de winst systematisch zou worden geïnvesteerd in windmolenparken, zonnepanelen

– en ze daarna elke 30 jaar vervangt ! – en het planten van bomen, – en ze nooit kapt! – zodat wanneer de olie op is, er nog steeds een gelijkwaardige stroom hernieuwbare energie beschikbaar is.)

- Voor een verontreinigende stof mag de duurzame emissiesnelheid niet hoger zijn dan de snelheid waarmee die verontreinigende stof kan worden gerecycled, geabsorbeerd of onschadelijk gemaakt in zijn opslagplaats. (Zo kan rioolwater niet sneller op duurzame wijze in een rivier, meer of ondergrondse watervoerende laag worden geloosd dan bacteriën en andere organismen de voedingsstoffen kunnen opnemen zonder zelf het aquatisch ecosysteem te overbelasten en te destabiliseren.)

[080] Elke activiteit die leidt tot een afname van de voorraad hernieuwbare hulpbronnen, een toename van de vervuillende putten of een afname van de voorraad niet-hernieuwbare hulpbronnen zonder dat er een hernieuwbare vervanging in zicht is, is niet duurzaam. Vroeg of laat zal die activiteit moeten worden verminderd. In veel discussies over de regels van Daly – in academische, zakelijke, gouvernementele en maatschappelijke kringen – hebben we nog nooit iemand deze regels horen betwisten. (We hebben ook zelden iemand gevonden die serieus probeert ernaar te leven.) Als er basiswetten voor duurzaamheid bestaan, moeten deze daar deel van uitmaken. De vraag is niet of ze correct zijn, maar of de wereldeconomie ze respecteert en wat er gebeurt als dat niet het geval is.

We zullen de drie criteria van Daly gebruiken om een kort

overzicht te geven van verschillende bronnen en putten die door de menselijke economie worden gebruikt. We beginnen met hernieuwbare hulpbronnen en vragen ons af: *worden ze sneller gebruikt dan ze zich kunnen herstellen?* Voor niet-hernieuwbare hulpbronnen, waarvan de voorraden per definitie moeten afnemen, vragen we ons af: *hoe snel worden de hoogwaardige materialen gebruikt? Hoe ontwikkelen zich de werkelijke kosten in energie en kapitaal die nodig zijn om ze te leveren?* Ten slotte kijken we naar verontreinigende stoffen en afvalstoffen en vragen we ons af: *worden ze in voldoende mate onschadelijk gemaakt? Of hopen ze zich op in het milieu?*

Deze vragen moeten niet worden beantwoord met het World3-model (niets in dit hoofdstuk is gebaseerd op dat model), maar met de mondiale gegevens, voor zover die beschikbaar zijn, bron voor bron, put voor put.^{Q2} In dit hoofdstuk noemen we slechts enkele van de vele interacties tussen de ene bron of put en de andere (bijvoorbeeld het feit dat het verbouwen van meer voedsel meer energie kost, of dat vervuiling door de productie van meer energie het klimaat kan veranderen en de landbouwopbrengsten kan beïnvloeden).

De grenzen die we hier bespreken, behoren tot de grenzen die de wetenschappers wereldwijd momenteel kennen. Er is geen garantie dat dit ook daadwerkelijk de belangrijkste grenzen zijn. Er staan ons nog verrassingen te wachten, zowel aangename als onaangename. De technologieën die we hier noemen, zullen in de toekomst zeker worden verbeterd. Aan de andere kant zullen er nieuwe problemen aan het licht komen die vandaag de dag nog totaal onbekend zijn.

We gaan in detail in op de status en vooruitzichten van de fysieke behoeften van de wereld. Onze analyse geeft u geen eenvoudig, eenduidig beeld van waar de mensheid zich bevindt ten opzichte van de grenzen van de groei. Maar het helpt u wel om uw eigen mening te vormen over de realiteit van grenzen en de impact van het huidige beleid daarop. [081] Zelfs als we rekening houden met de huidige lacunes in het menselijk begrip van grenzen, denken we dat de bewijzen die in dit hoofdstuk worden gepresenteerd u zullen overtuigen van vier conclusies:

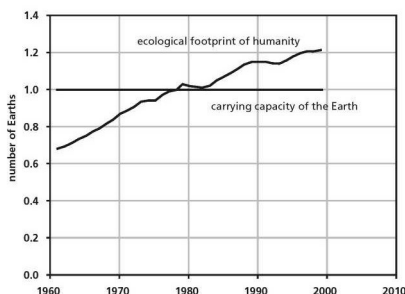
- De menselijke economie verbruikt momenteel veel kritieke hulpbronnen en produceert afval in hoeveelheden die niet duurzaam zijn. Bronnen raken uitgeput. Opvangcapaciteiten raken vol en in sommige gevallen zelfs overvol. De meeste doorstromingsstromen kunnen op de lange termijn niet worden gehandhaafd, zelfs niet bij de huidige snelheden, laat staan worden verhoogd. We verwachten dat veel van deze stromen in deze eeuw hun piek zullen bereiken en vervolgens zullen afnemen.
- Deze hoge doorstromingssnelheden zijn niet noodzakelijk. Technische, distributieve en institutionele veranderingen zouden deze aanzienlijk kunnen verminderen en tegelijkertijd de gemiddelde levenskwaliteit van de wereldbevolking op peil kunnen houden of zelfs verbeteren.
- De druk van de mens op het milieu ligt al boven het duurzame niveau en kan niet langer dan een of twee generaties worden volgehouden. Als gevolg daarvan zijn er al veel negatieve effecten op de menselijke gezondheid en de economie zichtbaar.

- De werkelijke kosten van materialen stijgen.

Het concept van de menselijke belasting van het milieu is uiterst complex en moeilijk te kwantificeren. De beste benadering die momenteel beschikbaar is, en die wij hier hanteleren, is het begrip *ecologische voetafdruk*.

Dit concept wordt gedefinieerd als de totale impact van de mensheid op de natuur: de som van alle effecten van grondstofwinning, vervuiling, energieverbruik, vernietiging van de biodiversiteit, verstedelijking en andere gevolgen van fysieke groei. Het is een moeilijk te meten concept, maar de afgelopen tien jaar is er veel vooruitgang geboekt. En die zullen zeker worden voortgezet.

Een veelbelovende benadering, die in het voorwoord wordt genoemd, is om alle menselijke ontnemingen aan het mondiale ecosysteem om te rekenen naar het aantal hectaren land dat nodig is om de “ecologische dienstverlening”



Figuur P-1

voor onbepaalde tijd in stand te houden. Er is een eindig aantal hectaren land op aarde. Deze benadering biedt dus een antwoord op de vraag of de mensheid de beschikbare hulpbronnen overschrijdt. **Figuur P-1** in het voorwoord van de auteurs geeft aan dat het antwoord ja is. Volgens deze methode om de ecologische voetafdruk te meten, had de mensheid aan het begin van de millenniumwisseling 1,2

keer meer land nodig dan er op aarde beschikbaar was. Kortom, de mensheid overschreed de mondiale grens met 20 procent. Gelukkig zijn er veel manieren om de druk te verlichten, weer onder de grenzen te komen en de behoeften en verwachtingen van de mens op een veel duurzamere manier te ondersteunen. Veel van deze manieren zullen we in de volgende pagina's bespreken.

Hernieuwbare bronnen

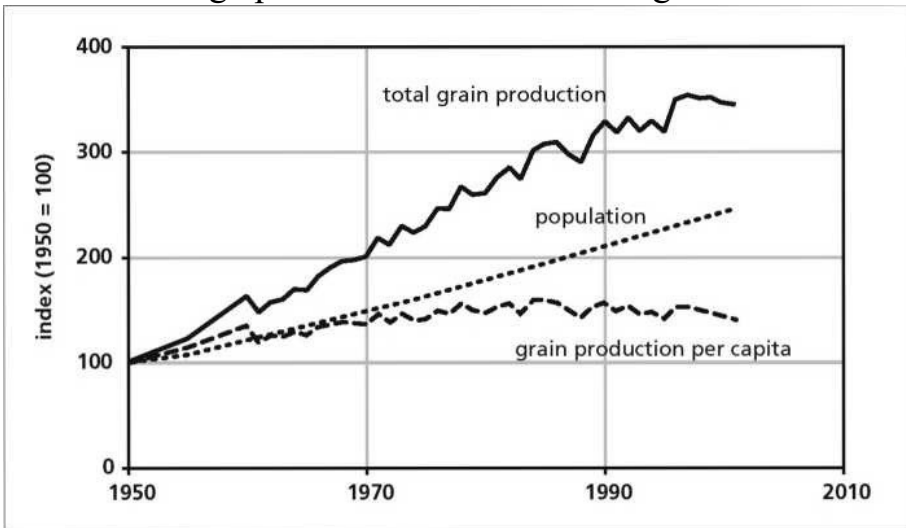
Voedsel, land, bodem

Het meeste hoogwaardige landbouwgrond is al in productie en de milieukosten van het omzetten van resterende bos-, gras- en wetlandhabitats in akkerland zijn algemeen bekend.... Veel van de resterende grond is minder productief en kwetsbaarder. ... Een analyse van de wereldwijde bodemerosie schat dat, afhankelijk van de regio, de bovengrond momenteel 16 tot 300 keer sneller verloren gaat dan dat deze kan worden vervangen.

-WORLD RESOURCES INSTITUTE, 1998

Tussen 1950 en 2000 is de wereldwijde graanproductie meer dan verdrievoudigd, van ongeveer 590 tot meer dan 2000 miljoen ton per jaar. Van 1950 tot 1975 steeg de graanproductie met gemiddeld 3,3 procent per jaar, sneller dan de bevolkingsgroei van 1,9 procent per jaar (figuur 3-2). De afgelopen decennia is de graanproductie echter vertraagd, totdat deze onder het bevolkingsgroeipercentage is gedaald. De

graanproductie per hoofd van de bevolking bereikte rond 1985 een hoogtepunt en daalt sindsdien langzaam.^{Q4}



FIGUUR 3-2 Wereldgraanproductie

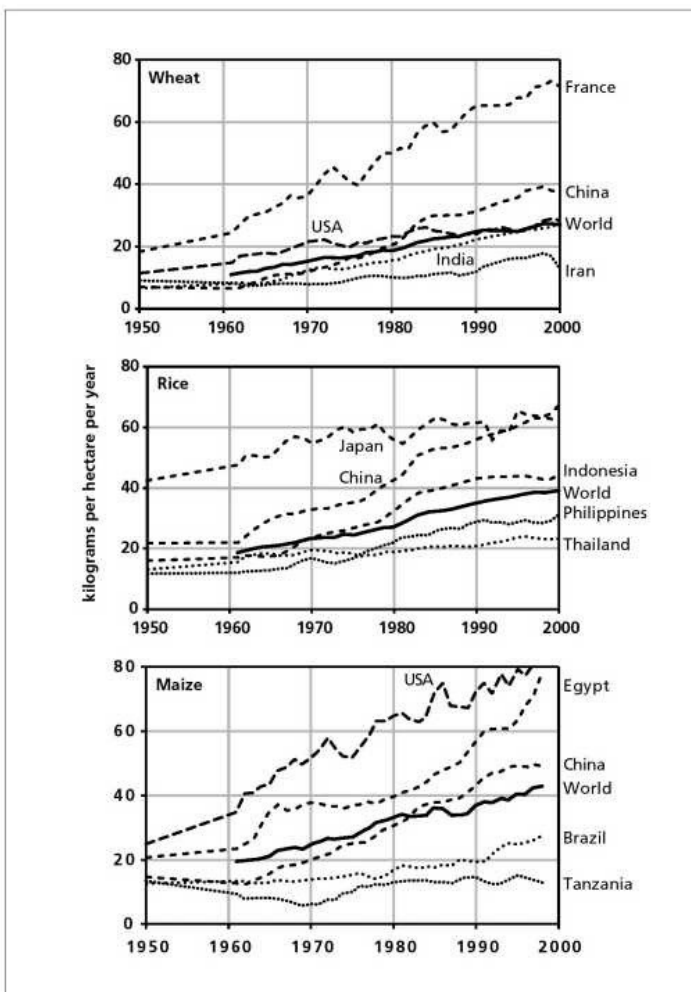
In 2000 produceerden de boeren wereldwijd meer dan drie keer zoveel graan als in 1950. Door de bevolkingsgroei bereikte de productie per hoofd van de bevolking echter halverwege de jaren tachtig een piek en sindsdien daalt deze licht. Toch is de wereldwijde graanproductie per hoofd van de bevolking nu 40 procent hoger dan in 1950. (Bronnen: FAO; PRB.)

Toch is er, althans in theorie, genoeg voedsel om iedereen voldoende te voeden. De totale hoeveelheid graan die rond het jaar 2000 in de wereld werd geproduceerd, zou acht miljard mensen in leven kunnen houden op het bestaansminimum, mits deze gelijkmatig werd verdeeld, niet aan dieren werd gevoerd en niet verloren ging door ongedierte of tussen oogst en consumptie werd laten rotten. Graan maakt ongeveer de helft uit van de wereldwijde landbouwproductie

(gemeten in calorieën). Voeg daar de jaarlijkse productie van knolgewassen, groenten, fruit, vis en dierlijke producten die niet met graan worden gevoederd, aan toe en er zou genoeg zijn om de bevolking van zes miljard mensen aan het begin van de millenniumwisseling een gevarieerd en gezond dieet te geven.^{Q5}

De werkelijke verliezen na de oogst variëren per gewas en per plaats, van 10 tot 40 procent.^{Q6} De verdeling van voedsel is verre van gelijk en veel graan wordt gebruikt als veevoer en niet voor menselijke consumptie. Ondanks de theoretische voldoende voedselvoorziening blijft honger dus bestaan. De Voedsel- en Landbouworganisatie van de Verenigde Naties (FAO) schat dat ongeveer 850 miljoen mensen chronisch minder eten dan hun lichaam nodig heeft.

Deze hongerige mensen zijn voornamelijk vrouwen en kinderen. In de ontwikkelingslanden is een op de drie kinderen ondervoed.^{Q8} Ongeveer 200 miljoen mensen in India lijden chronisch honger, meer dan 200 miljoen in Afrika, 40 miljoen in Bangladesh en 15 miljoen in Afghanistan.^{Q9} Jaarlijks sterven ongeveer negen miljoen mensen aan de gevolgen van honger. Dat komt neer op gemiddeld 25.000 doden per dag. Tot nu toe is het aantal hongerige mensen ongeveer gelijk gebleven, terwijl de bevolking is gegroeid. Het geschatte aantal sterfgevallen als gevolg van honger is langzaam gedaald. Dat is een verbazingwekkende prestatie. In een wereld met een groeiende bevolking en beperkte hulpbronnen neemt de honger niet toe. Maar er zijn nog steeds gebieden waar mensen wanhopig honger lijden en waar chronische ondervoeding wijdverbreid is.



FIGUUR 3-3 Graanopbrengsten

De opbrengsten van tarwe, rijst en maïs zijn hoog in de geïndustrialiseerde wereld. In sommige industrialiserende landen, zoals China, Egypte en Indonesië, stijgen ze snel. In andere, minder geïndustrialiseerde landen zijn de opbrengsten nog steeds erg laag, met een aanzienlijk potentieel voor verbetering. (Om jaarlijkse weersschommelingen te egaliseren, zijn de opbrengsten in deze grafieken gemiddeld over periodes van drie jaar.) (Bron: FAO.)

Honger blijft niet bestaan vanwege de fysieke grenzen van de aarde – nog niet, althans. Er kan meer voedsel worden geproduceerd. **Figuur 3-3** toont bijvoorbeeld de trends in graanopbrengsten in verschillende landen en in de wereld. Vanwege verschillen in bodem en klimaat kan niet van elke hectare land worden verwacht dat deze evenveel opbrengt als de hoogste bekende opbrengsten op de meest gunstige plaatsen. Maar de opbrengst zou op veel plaatsen zeker kunnen worden verhoogd met technieken die al bekend zijn en op grote schaal worden toegepast.

In een grondige studie van bodem en klimaat in 117 landen in Latijns-Amerika, Afrika en Azië schatte de FAO dat slechts 19 van deze landen in het jaar 2000 niet in staat zouden zijn om hun bevolking te voeden met hun eigen land, zelfs als ze elke potentieel bebouwbare hectare zouden gebruiken en de technisch haalbare hoogste opbrengsten zouden behalen. Volgens deze studie zouden de 117 onderzochte landen hun voedselproductie met een factor 16,^{Q10} kunnen vermenigvuldigen als alle cultiveerbare grond voor voedsel zou worden gebruikt, er geen erosie zou zijn, het weer perfect zou zijn, het beheer perfect zou zijn en er onbeperkt gebruik zou kunnen worden gemaakt van landbouwinputs.

Die veronderstellingen zijn natuurlijk volkomen onrealistisch. Gezien het werkelijke weer en de landbouwpraktijken, gezien de noodzaak om land voor andere doeleinden dan voedselproductie te gebruiken (zoals bossen, weiden, menselijke nederzettingen, bescherming van stroomgebieden, bescherming van de biodiversiteit), gezien de problemen met de afvloeiing van meststoffen en pesticiden, liggen de

praktische grenzen van de voedselproductie aanzienlijk lager dan de theoretische grenzen. Zoals we hebben gezien, daalt de graanproductie per hoofd van de bevolking sinds 1985.

Sinds de Tweede Wereldoorlog is de landbouwproductie en -productiviteit in de ontwikkelingslanden opmerkelijk gegroeid. Hoewel deze groei in veel landbouwgebieden blijkbaar duurzaam is geweest, was hij in andere gebieden het gevolg van twee niet-duurzame processen: het ontginnen van nieuwe gronden met een lager productiepotentieel of een grotere kwetsbaarheid, en de intensivering van de productie door de exploitatie of vernietiging van de bodemrijdommen.^{Q11}

De meest voor de hand liggende beperking is land.^{Q12} Schattingen van het potentieel aan cultiveerbare grond op aarde variëren van twee tot vier miljard hectare (5 tot 10 miljard acres), afhankelijk van wat als *cultiveerbaar* wordt beschouwd. Ongeveer 1,5 miljard hectare wordt daadwerkelijk bebouwd, een oppervlakte die al drie decennia vrijwel constant is. De toename van de voedselproductie is bijna volledig te danken aan hogere opbrengsten, niet aan een netto uitbreiding van het landbouwareaal. Maar dat betekent niet dat het areaal landbouwgrond op peil blijft. Er wordt voortdurend nieuwe landbouwgrond in productie genomen, terwijl vroeger productieve grond verloren gaat door erosie, verzilting, verstedelijking en woestijnvorming. Tot nu toe zijn de verliezen ongeveer in evenwicht met de toevoegingen, althans in oppervlakte, zo niet in kwaliteit. Aangezien de beste grond over het algemeen als eerste wordt ontwik-

keld, wordt vroeger eersteklas grond aangetast, terwijl meer marginale grond in productie wordt genomen.^{Q11}

Het Milieuprogramma van de Verenigde Naties schatte in 1986 dat de mens in de afgelopen 1000 jaar ongeveer twee miljard hectare productieve landbouwgrond in woestijn heeft veranderd.^{Q14} Dat is meer dan het totale areaal dat vandaag de dag wordt bebouwd. Ongeveer 100 miljoen hectare geïrrigeerde grond is verloren gegaan door verzilting en nog eens 110 miljoen hectare heeft te maken met verminderde productiviteit. Het tempo waarin humus verloren gaat, versnelt: van 25 miljoen ton per jaar vóór de industriële revolutie tot 300 miljoen ton per jaar in de afgelopen eeuwen en 760 miljoen ton per jaar in de afgelopen 50 jaar.^{Q15} Dit verlies aan humus tast niet alleen de vruchtbaarheid van de bodem aan, maar draagt ook bij aan de opbouw van kooldioxide in de atmosfeer.

De eerste wereldwijde beoordeling van bodemverlies op basis van vergelijkbare studies door enkele honderden regionale deskundigen werd in 1994 gepubliceerd. Daarin werd geconcludeerd dat 38 procent (562 miljoen hectare) van de huidige landbouwgrond is aangetast (plus 21 procent van de permanente weidegronden en 18 procent van de bosgrond).^{Q16} De mate van aantasting varieert van licht tot ernstig.

We hebben geen wereldwijde cijfers kunnen vinden voor de omzetting van landbouwgrond in wegen en nederzettingen, maar het verlies moet aanzienlijk zijn. De stad Jakarta breidt zich naar schatting met 20.000 hectare per jaar uit ten koste van landbouwgrond. Vietnam verliest jaarlijks 20.000 hectare rijstvelden aan stedelijke ontwikkeling. Thailand heeft

tussen 1989 en 1994 34.000 hectare landbouwgrond omgevormd tot golfbanen. China verloor tussen 1987 en 1992 6,5 miljoen hectare landbouwgrond aan ontwikkeling, maar bracht tegelijkertijd 3,8 miljoen hectare bos en weideland in cultuur. De Verenigde Staten verhardden jaarlijks ongeveer 170.000 hectare akkerland.

Door dergelijke ontwikkelingen worden twee hernieuwbare bronnen uitgeput. De eerste is de kwaliteit (diepte, humusgehalte, vruchtbaarheid) van de bodem op landbouwgrond. [087] Dit verlies is lange tijd misschien niet zichtbaar in de voedselproductie, omdat bodemvoedingsstoffen kunnen worden vervangen door voedingsstoffen uit kunstmest. Kunstmest maskeert de tekenen van bodemvervuiling, maar niet voor onbepaalde tijd. Kunstmest is zelf een niet-duurzame input voor het landbouwsysteem en vertraagt de signalen over de bodemvruchtbaarheid, een van de structurele kenmerken die tot overschrijding leiden.

De tweede niet-duurzaam gebruikte bron is de grond zelf. Als miljoenen hectares worden aangetast en verlaten terwijl het bebouwde areaal ongeveer constant blijft, betekent dit dat het areaal potentieel bebouwbare grond (voornamelijk bos, zoals we later in dit hoofdstuk zullen zien) krimpt, terwijl het areaal onproductieve braakliggende grond toeneemt. De voedselstroom die de menselijke bevolking in stand houdt, wordt geproduceerd door voortdurend nieuwe grond in gebruik te nemen en uitgeputte, verzoute, geërodeerde of verharde bodems achter te laten. Het is duidelijk dat deze praktijk niet eeuwig kan voortduren.

Als de bevolking exponentieel groeit en het areaal cultuur-

grond ongeveer constant is gebleven, dan neemt het areaal cultuurgrond per persoon af. In feite is dit gedaald van 0,6 hectare per persoon in 1950 tot 0,25 hectare per persoon in 2000. Het is alleen mogelijk geweest om een groeiende bevolking te blijven voeden met minder land per persoon omdat de opbrengsten zijn gestegen. De gemiddelde opbrengst van rijst bedroeg in 1960 2 ton per hectare en in 1995 3,6 ton, met een maximale opbrengst van 10 ton onder proefomstandigheden. De opbrengst van maïs in de Verenigde Staten steeg van gemiddeld 5 ton per hectare in 1967 tot meer dan 8 ton in 1997, waarbij de beste boeren in de beste jaren 20 ton haalden.

Wat zeggen al deze gegevens over de kans op een toekomstig tekort aan landbouwgrond? **Figuur 3-4** illustreert verschillende scenario's voor de komende eeuw. De figuur toont het onderlinge verband tussen het totale areaal, de bevolkingsgroei, de gemiddelde opbrengst en de voedingsstandaard.

De gearceerde band geeft de totale hoeveelheid cultiveerbare grond weer, variërend van de huidige 1,5 miljard hectare tot de theoretische bovengrens van 4 miljard hectare. De grond aan de bovenkant van de gearceerde band zal veel minder productief zijn dan die aan de onderkant. Natuurlijk kan de totale hoeveelheid cultiveerbare grond afnemen, maar in figuur 3-4 gaan we ervan uit dat er geen grond verloren gaat. In elk scenario gaan we er verder van uit dat de wereldbevolking zal groeien volgens de gemiddelde prognose van de Verenigde Naties.

Het is een opvallend patroon. Gemiddeld genomen is er een gestage vooruitgang, maar aan de top – het neusje van de zalm – lijkt de maïsopbrengst in 25 jaar niet te zijn veranderd. De gemiddelde jaarlijkse maïsopbrengsten blijven met 90 kg/ha stijgen, maar de investeringen in onderzoek naar maïs-veredeling zijn verviervoudigd. Wanneer elke stap vooruit moeilijker wordt, is dat een teken van afnemende opbrengsten.

Kenneth S. Cassman, 1999

Ik kan mezelf niet overtuigen van waar de groei [in opbrengst] in de komende vijftig jaar vandaan moet komen.

Vernon Ruttan, 1999

Die maximale rijstopbrengsten zijn al 30 jaar hetzelfde. We bereiken een plateau in biomassa en daar is geen eenvoudige oplossing voor.

Robert S. Loomis, 1999

Het is duidelijk dat de opbrengststijgingen langzamer en duurder gaan. Sommige Amerikaanse landbouwexperts maakten zich al in 1999 zorgen over een “opbrengstplateau”.^{Q19} Erosie, klimaatverandering, dure fossiele brandstoffen, dalende grondwaterstanden, andere factoren zouden de opbrengsten ook kunnen doen dalen ten opzichte van het huidige niveau, maar in figuur 3-4 gaan we ervan uit dat de opbrengsten deze eeuw op hetzelfde niveau blijven of verdubbelen.

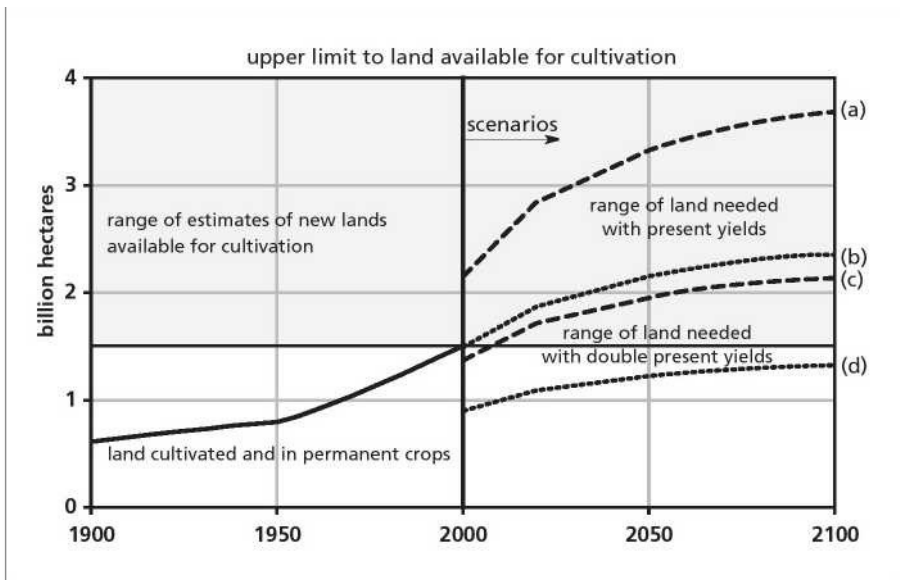
Ervan uitgaande dat de huidige opbrengsten op hetzelfde niveau blijven, geeft lijn A het aantal hectare land weer dat

nodig is om de bevolking te voeden op het gemiddelde niveau van West-Europa in 2000. Lijn B geeft het landareaal weer dat nodig is om de huidige, ontoereikende voeding van de wereldbevolking gedurende deze eeuw in stand te houden. Ervan uitgaande dat de opbrengsten verdubbelen, geeft lijn C het aantal hectare land weer dat nodig is om de wereldbevolking te voeden op het gemiddelde niveau van West-Europa in het jaar 2000. Lijn D geeft de benodigde hoeveelheid land weer om de huidige, ontoereikende voeding van de wereldbevolking gedurende deze eeuw in stand te houden.

In figuur 3-4 kunt u zien hoe snel exponentiële bevolkingsgroei de wereld kan doen overschakelen van landoverschot naar landschaarste.

Maar figuur 3-4 laat ook zien hoeveel adaptieve reacties er mogelijk zijn, afhankelijk van de veerkracht van de hulpbronnen en de technische en sociale flexibiliteit van de mensheid. Als er geen land meer verloren zou gaan, als de opbrengsten wereldwijd zouden kunnen verdubbelen en als aangetast land zou kunnen worden hersteld, dan zou elk van de huidige zes miljard mensen genoeg voedsel hebben, evenals de bijna negen miljard mensen die voor het midden van de eenentwintigste eeuw worden voorspeld. Maar als de erosie toeneemt, als de irrigatie niet op peil kan worden gehouden, als het ontwikkelen of herstellen van land te duur blijkt, als een verdubbeling van de opbrengst op wereldgemiddelde te moeilijk of te gevaarlijk voor het milieu is, als de bevolkingsgroei niet afvlakt volgens de voorspellingen van de VN, dan zou voedsel niet alleen lokaal, maar ook

wereldwijd snel een ernstig probleem kunnen worden. [089] De schaarste zou plotseling lijken, maar zou niets meer zijn dan een voortzetting van exponentiële trends.



FIGUUR 3-4 Mogelijke toekomstscenario's voor landbouwgrond
De bebouwbare grond in de eenentwintigste eeuw zal waarschijnlijk tussen de 1,5 en 4,0 miljard hectare bedragen, zoals hierboven aangegeven door de gearceerde strook. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat de bevolkingsgroei overeenkomt met de gemiddelde prognose van de VN. Scenario's voor na het jaar 2000 laten zien hoeveel land er nodig is voor voedselproductie met de huidige opbrengsten per hectare en met een verdubbeling van de huidige opbrengsten om de huidige voedingsnormen te handhaven en om een wereldwijd gemiddelde voeding te bereiken die gelijk is aan die van een gemiddelde West-Europeaan in het jaar 2000. (Bronnen: VN, FRB, FAO, G.M. Higgins et al.)

Onhoudbaar gebruik van de agrarische hulpbronnen is het gevolg van vele factoren, waaronder armoede en wanhoop,

uitbreiding van menselijke nederzettingen, overbegrazing en overbewerking van de bodem, onwetendheid, economische beloningen voor kortetermijnproductie in plaats van langetermijnbeheer, en managers die te weinig kennis hebben van ecologie, met name van bodemecosystemen.

Naast bodem en land zijn er nog andere beperkingen voor de voedselproductie, waaronder water (waar we zo op terugkomen), energie en bronnen en opslagplaatsen voor landbouwchemicaliën.^{Q20} In sommige delen van de wereld zijn sommige van deze grenzen al overschreden. De bodem erodeert, irrigatie verlaagt het grondwaterpeil en afvloeiing van landbouwgrond vervuult het oppervlakte- en grondwater. [090] Zo bevatten de grote watermassa's van de wereld 61 grote dode zones – gebieden waar door afvloeiing van voedingsstoffen, voornamelijk uit meststoffen en bodemerosie, vrijwel al het waterleven is gedood. Sommige dode zones zijn het hele jaar door aanwezig, andere alleen in de zomer, nadat de voorjaarsafvoer mestresten van landbouwgronden stroomopwaarts heeft weggespoeld. De dode zone in de Mississippi beslaat 21.000 vierkante kilometer (8.000 vierkante mijl), een gebied ter grootte van de staat Massachusetts.^{Q21} Landbouwpraktijken die op zo'n enorme schaal ecologische verstoring veroorzaken, zijn niet duurzaam. Ze zijn ook niet nodig.

In veel gebieden is er geen sprake van bodemerosie, wordt land niet verlaten en vervuilen landbouwchemicaliën het land en het water niet. Landbouwmethoden die de bodem in stand houden en verbeteren, zoals terrasbouw, contourploeien, composteren, bodembedekkers, polycultuur en vrucht-

wisseling, zijn al eeuwenlang bekend en worden al eeuwenlang toegepast. Andere methoden die met name in de tropen kunnen worden toegepast, zoals *alley cropping* en *agroforestry*, worden momenteel getest in proefstations en op boerderijen.^{Q22} Op alle soorten boerderijen, zowel in gematigde als tropische zones, worden op duurzame wijze hoge opbrengsten behaald zonder grootschalig gebruik van synthetische meststoffen en pesticiden, en vaak zelfs zonder enige synthetische meststoffen of pesticiden.

Let wel: in de vorige zin werd gesproken over hoge opbrengsten. Het is een goed gedocumenteerd feit dat “biologische” boeren niet primitief hoeven te zijn of terug hoeven te vallen op de landbouwmethoden en lage productiviteit van 100 jaar geleden. De meesten van hen gebruiken hoogproductieve rassen, arbeidsbesparende machines en geavanceerde ecologische methoden voor bemesting en ongediertebestrijding. Hun opbrengsten zijn doorgaans gelijk aan die van hun burens die chemische middelen gebruiken, maar hun winsten zijn doorgaans hoger.^{Q23} Als ook maar een fractie van het onderzoek dat wordt besteed aan chemische inputs en genetische modificatie zou worden besteed aan biologische productiemethoden, zou de biologische landbouw nog productiever zijn.

In vergelijking met conventionele, intensieve landbouwmethoden kunnen “biologische” alternatieven de bodemvruchtbaarheid verbeteren en hebben ze minder schadelijke effecten op het milieu. Deze alternatieven kunnen ook opbrengsten opleveren die gelijkwaardig zijn aan die van conventionele methoden.^{Q24}

Duurzame landbouw is niet alleen mogelijk, maar wordt op sommige plaatsen al toegepast. Miljoenen boeren in alle delen van de wereld passen ecologisch verantwoorde landbouwtechnieken toe en ontdekken dat naarmate de bodemdegradatie wordt gekeerd, de opbrengsten blijven stijgen. Consumenten, in ieder geval in de rijke wereld, vragen steeds vaker om voedsel dat op deze manier is geproduceerd en zijn bereid daar een hogere prijs voor te betalen. In de Verenigde Staten en Europa groeide de markt voor biologische producten in de jaren negentig met 20 tot 30 procent per jaar. In 1998 bedroeg de verkoop van biologische voedingsmiddelen en dranken op de belangrijkste wereldmarkten in totaal 13 miljard dollar.^{Q25}

Waarom hebben we nog niets gezegd over de belofte van genetisch gemodificeerde gewassen? Omdat er nog geen uitsluitel is over deze technologie – er is zelfs sprake van een diepgaande controverse. Het is ook niet duidelijk of genetische manipulatie nodig is om de wereld te voeden en of het duurzaam is. Mensen hebben geen honger omdat er te weinig voedsel te koop is, maar omdat ze geen voedsel kunnen betalen. Het produceren van grotere hoeveelheden duur voedsel zal hen niet helpen. En hoewel genetische manipulatie de opbrengsten kan verhogen, zijn er nog tal van onbenutte mogelijkheden om de opbrengsten te verhogen zonder genomische ingrepen die zowel hightech (en dus ontoegankelijk voor de gewone boer) als ecologisch riskant zijn. De haast om biotechnologische gewassen te introduceren leidt nu al tot verontrustende ecologische, agrarische en consumentenreacties.^{Q26}

Iedereen zou meer dan voldoende gevoed kunnen worden met de hoeveelheid voedsel die nu wordt verbouwd. En er zou meer voedsel kunnen worden verbouwd. Dat zou kunnen met veel minder vervuiling, op minder land en met minder fossiele energie, waardoor miljoenen hectares kunnen worden teruggegeven aan de natuur of aan de productie van vezels, veevoer of energie. Het zou kunnen worden gedaan op een manier die boeren adequaat beloont voor het voeden van de wereld. Maar tot nu toe ontbreekt het vooral aan de politieke wil om deze resultaten te bereiken. De huidige realiteit is dat in veel delen van de wereld de bodem, het land en de voedingsbronnen achteruitgaan, evenals de landbouw-economieën en -gemeenschappen. In die gebieden heeft de landbouwproductie, gezien de huidige praktijken, vele grenzen overschreden. Tenzij er snel veranderingen worden doorgevoerd – veranderingen die heel goed mogelijk zijn – zal de groeiende wereldbevolking moeten proberen zichzelf te voeden met minder boeren, die moeten werken met een afnemende agrarische hulpbronnenbasis.

Water

In veel landen, zowel ontwikkelingslanden als ontwikkelde landen, zijn de huidige patronen van watergebruik vaak niet duurzaam.... De wereld wordt geconfronteerd met een reeks steeds ernstiger wordende lokale en regionale problemen op het gebied van waterkwantiteit en -kwaliteit. . . . Beperkte watervoorraden en waterverontreiniging verzwakken een van de grondstoffen waarop de menselijke samenleving is

gebouwd.

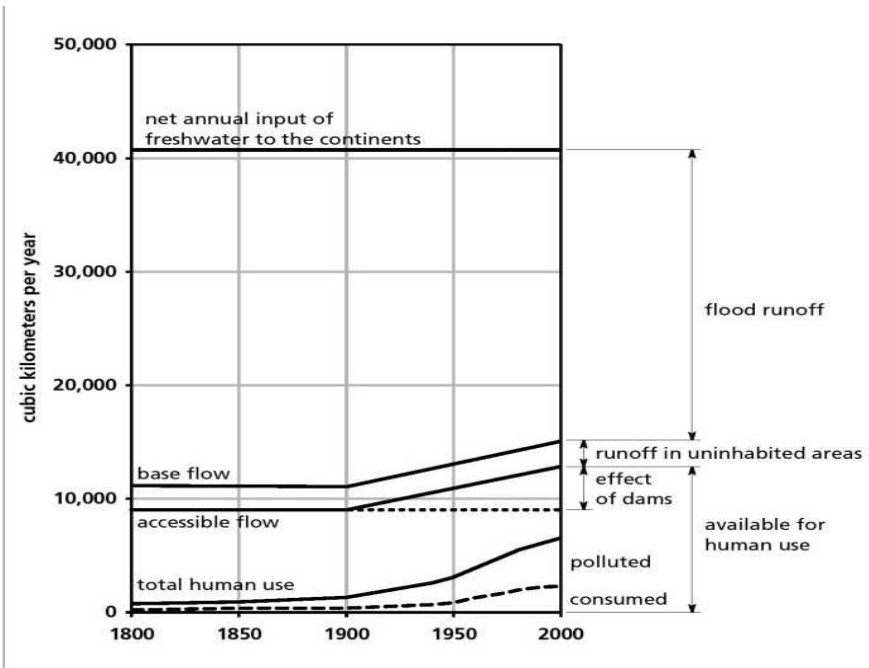
-UN COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF
THE FRESHWATER RESOURCES, 1997

[092] Zoet water is geen mondiale hulpbron. Het is een regionale hulpbron die beschikbaar is in specifieke stroomgebieden, waardoor de beperkingen vele vormen aannemen. In sommige stroomgebieden zijn de beperkingen seizoensgebonden en afhankelijk van het vermogen om water op te slaan tijdens droge periodes. Op andere plaatsen worden de beperkingen bepaald door de snelheid waarmee het grondwater wordt aangevuld, de snelheid waarmee sneeuw smelt of de wateropslagcapaciteit van bosbodems. Aangezien water niet alleen een bron maar ook een put is, kan het gebruik ervan ook worden beperkt door de mate waarin het stroomopwaarts of ondergronds is vervuild.

Het inherent regionale karakter van water weerhoudt mensen er niet van om wereldwijde uitspraken over water te doen – uitspraken die in toenemende mate blijf geven van diepe bezorgdheid. Water is de minst vervangbare en meest essentiële hulpbron. De beperkingen ervan leggen beperkingen op aan andere noodzakelijke doorstromingen, zoals voedsel, energie, vis en wilde dieren. De winning van andere doorstromingen, zoals voedsel, mineralen en bosproducten, kan de hoeveelheid of kwaliteit van water verder beperken. In een toenemend aantal stroomgebieden in de wereld zijn de grenzen onbetwistbaar overschreden. In sommige van de armste en rijkste economieën daalt het waterverbruik per hoofd van de bevolking als gevolg van milieubezwaren,

stijgende kosten of schaarste.

Figuur 3-5 is slechts illustratief, omdat het een wereldwijde samenvatting is van vele regionale stroomgebieden. We zouden echter voor elke regio een vergelijkbare grafiek kunnen tekenen, met dezelfde algemene kenmerken: een grens, een aantal factoren die de grens kunnen verleggen, en groei in de richting van – en op sommige plaatsen voorbij – de grens.



FIGUUR 3-5 Zoetwatervoorraden

Een grafiek van de wereldwijde zoetwatervoorziening en -gebruik laat zien hoe snel de groei van het verbruik en de vervuiling de totale hoeveelheid beschikbaar water kan benaderen, en hoe essentieel de bouw van dammen is geweest voor de stabiliteit van de voorziening. (Bronnen: P. Glick; S. L. Postel et al.; D. J. Bogue; VN.)

Bovenaan de grafiek staat de fysieke bovengrens voor het waterverbruik door de mens, de totale jaarlijkse afvoer van de stromen en rivieren in de wereld (inclusief de aanvulling van alle grondwaterlagen). Dit is de hernieuwbare bron waaruit bijna al het zoetwater voor de menselijke economie wordt gewonnen. Het gaat om een enorme hoeveelheid water: 40.700 kubieke kilometer per jaar, genoeg om de vijf Grote Meren van Noord-Amerika elke vier maanden te vullen. Dat lijkt inderdaad een verre grens, gezien het huidige waterverbruik van de mensheid van iets meer dan 5 procent van dat bedrag: 2.290 kubieke kilometer per jaar.^{Q27}

In de praktijk kan echter niet al dat zoetwater worden gebruikt. Een groot deel ervan is seizoensgebonden. Maar liefst 29.000 kubieke kilometer per jaar stroomt via overstromingen naar zee. Dat laat slechts 11.000 kubieke kilometer over die als een bron voor het hele jaar kan worden beschouwd, de som van de basisrivier en de grondwateraanvulling.

Figuur 3-5 laat zien dat de mens die afvoerlimiet verhoogt door dammen te bouwen om overstromingswater op te vangen. **[093]** Tegen het einde van de twintigste eeuw hadden dammen de bruikbare afvoer met ongeveer 3500 kubieke kilometer per jaar vergroot.^{Q28} (Dammen zetten natuurlijk land onder water, vaak vruchtbare landbouwgrond. En ze wekken elektriciteit op. Ze verhogen ook de verdamping uit het stroomgebied, waardoor de netto afvoer afneemt en zowel de ecosystemen langs de rivier als in het water veranderen. Vroeg of laat slibben ze dicht en worden ze ondoeltreffend, zodat ze geen bron van duurzame stroming zijn; ze veroor-

zaken een andere, zeer langdurige vertraging – met veel positieve en negatieve neveneffecten – in de terugkoppeling van de grenzen.)

Er zijn andere manieren dan dammen om de watergrens te verhogen, zoals ontzilting van zeewater of watertransport over lange afstanden. Deze veranderingen kunnen lokaal belangrijk zijn, maar ze zijn energie-intensief en duur. Tot nu toe zijn ze te klein om op een grafiek op wereldschaal te verschijnen.^{Q29}

Niet alle duurzame stroming vindt plaats waar mensen wonen. Het Amazonebekken is goed voor 15 procent van de wereldwijde afvoer, maar herbergt slechts 0,4 procent van de wereldbevolking. De rivieren in het uiterste noorden van Noord-Amerika en Eurazië voeren jaarlijks 1.800 kubieke kilometer water af in gebieden waar maar heel weinig mensen wonen. De stabiele afvoer die niet gemakkelijk toegankelijk is voor mensen bedraagt ongeveer 2.100 kubieke kilometer per jaar.

De 11.000 kubieke kilometer aan duurzame stroming, plus 3.500 kubieke kilometer toegevoegd door dammen, minus 2.100 kubieke kilometer die ontoegankelijk is, levert 12.400 kubieke kilometer per jaar aan toegankelijke duurzame stroming op. Dat is de te verwachten bovengrens van de hernieuwbare zoetwatervoorraad die beschikbaar is voor menselijk gebruik.^{Q30}

Het verbruik door de mens (water dat wordt onttrokken maar niet terugkeert naar rivieren of grondwater omdat het verdampt of wordt opgenomen in gewassen of producten)

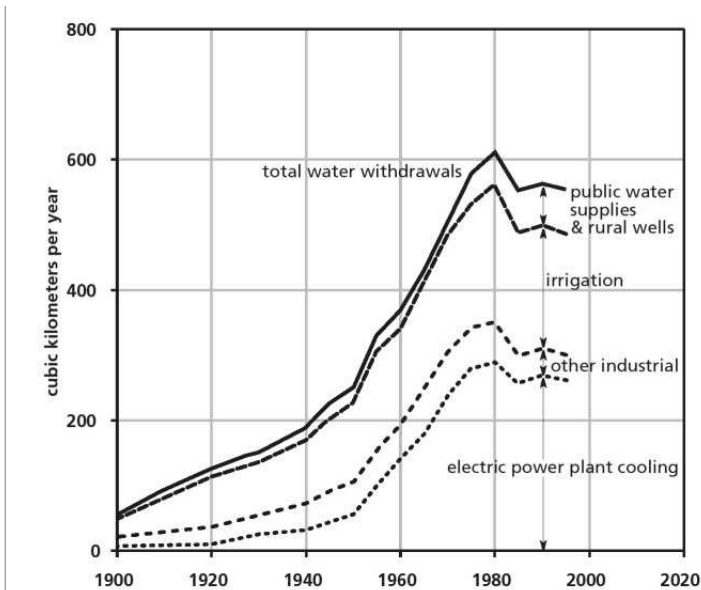
bedraagt 2.290 kubieke kilometer per jaar. Nog eens 4.490 kubieke kilometer wordt voornamelijk gebruikt om vervuiling te verdunnen en af te voeren. Deze twee categorieën van impact zijn samen goed voor 6.780 kubieke kilometer per jaar, iets meer dan de helft van de totale duurzame zoetwaterafvoer.

Betekent dit dat er ruimte is voor een verdubbeling van het waterverbruik? Is een verdubbeling waarschijnlijk?

Als de gemiddelde vraag per hoofd van de bevolking helemaal niet zou veranderen en de wereldbevolking zou groeien tot negen miljard in 2050, zoals de VN momenteel voorspelt, zouden mensen 10.200 kubieke kilometer per jaar onttrekken, 82 procent van de wereldwijde duurzame zoetwaterafvoer. Als niet alleen de bevolking maar ook de vraag per hoofd van de bevolking zou toenemen, zouden er lang voor het jaar 2100 ernstige mondiale waterbeperkingen ontstaan. In de loop van de 20e eeuw is het waterverbruik ongeveer twee keer zo snel gestegen als de bevolking.^{Q31} Maar met de toenemende schaarste zal het verbruik per hoofd van de bevolking waarschijnlijk afvlakken en zelfs dalen. De verbruikscurve begint al duidelijk af te vlakken en op sommige plaatsen zelfs te dalen. Het wereldwijde waterverbruik is slechts de helft van wat 30 jaar geleden op basis van extrapolatie van exponentiële curven werd voorspeld.^{Q32}

[095] Na een verdubbeling om de twintig jaar gedurende de twintigste eeuw, bereikte de wateronttrekking in de VS rond 1980 een piek en is sindsdien met ongeveer 10 procent gedaald (figuur 3-6). Er zijn veel redenen voor deze daling, die allemaal relevant zijn voor de vraag wat er gebeurt wanneer

economieën tegen waterbeperkingen aanlopen. Het industriële gebruik daalde met 40 procent, deels als gevolg van de export van zware industrie naar andere delen van de wereld, maar ook door waterkwaliteitsvoorschriften, die efficiënt gebruik, recycling en zuivering vóór lozing economisch aantrekkelijk of wettelijk verplicht maakten (of beide).



FIGUUR 3-6 Waterverbruik in de VS

Het waterverbruik in de VS is vanaf het begin van de twintigste eeuw tot in de jaren tachtig met gemiddeld 3 procent per jaar gestegen. Sindsdien is het verbruik licht gedaald en gestabiliseerd. (Bron: P. Gleick.)

Het gebruik voor irrigatie daalde deels door efficiëntieverbeteringen, maar ook omdat groeiende gemeenten water van boeren kochten (waardoor land voor voedselproductie verloren ging). Het gemeentelijk gebruik nam toe, maar alleen als

gevolg van de bevolkingsgroei. Het verbruik per hoofd van de bevolking daalde, vooral in de en delen van het land, waar stijgende waterprijzen het gebruik van waterzuinige apparaten stimuleerden.^{Q33}

[096] Het waterverbruik per hoofd van de bevolking in de VS is weliswaar gedaald, maar met 1500 kubieke meter per persoon per jaar nog steeds erg hoog. De gemiddelde burger in de ontwikkelingslanden verbruikt slechts een derde daarvan; de gemiddelde inwoner van Sub-Sahara Afrika slechts een tiende.^{Q34} Een miljard mensen heeft nog steeds geen toegang tot veilig drinkwater. De helft van de wereldbevolking beschikt niet over basisvoorzieningen voor sanitaire voorzieningen.^{Q35} Hun waterbehoefte zal zeker toenemen, en dat is ook nodig. Helaas wonen zij in enkele van de meest waterarme gebieden ter wereld.

Ongeveer een derde van de wereldbevolking leeft in landen die te maken hebben met matige tot hoge waterstress, deels als gevolg van de toenemende vraag door een groeiende bevolking en menselijke activiteiten. Tegen 2025 zou maar liefst twee derde van de wereldbevolking onder stressomstandigheden leven. Watertekorten en vervuiling veroorzaken wijdverbreide volksgezondheidsproblemen, beperken de economische en agrarische ontwikkeling en schaden een breed scala aan ecosystemen. Dit kan de wereldwijde voedselvoorziening in gevaar brengen en leiden tot economische stagnatie in veel delen van de wereld.^{Q36}

De rivieren Colorado, Yellow, Nijl, Ganges, Indus, Chao Phraya, Syr Darya en Amu Darya worden zo sterk omgeleid

voor irrigatie en steden dat hun bedding gedurende een deel van het jaar of het hele jaar droog staat. In de agrarische staten Punjab en Haryana in India daalt het grondwaterpeil met een halve meter per jaar. Noord-China pompt 30 kubieke kilometer per jaar te veel uit zijn bronnen (wat een van de redenen is waarom de Gele Rivier opdroogt). De Ogallala-aquifer, die een vijfde van het geïrrigeerde land in de Verenigde Staten van water voorziet, wordt met 12 kubieke kilometer per jaar te veel onttrokken. Door de uitputting ervan is tot nu toe een miljoen hectare landbouwgrond uit de irrigatie genomen. In de Central Valley in Californië, waar de helft van het fruit en de groenten van het land wordt geteeld, wordt gemiddeld ongeveer een kubieke kilometer grondwater per jaar te veel onttrokken. In heel Noord-Afrika en het Midden-Oosten wordt water gepompt uit woestijnaquifers die weinig of geen aanvulling krijgen.^{Q37}

De overmatige onttrekking van grondwater neemt toe. Op alle continenten behalve Antarctica wordt op niet-duurzame wijze gebruik gemaakt van grondwater.

Peter Gleick, The World's Water 1998-99

Grondwater sneller oppompen dan het kan worden aangevuld, is onhoudbaar. [097] De menselijke activiteiten die ervan afhankelijk zijn, zullen moeten worden teruggebracht tot een niveau dat in overeenstemming is met de hernieuwbare aanvulling, of, als het overmatig oppompen de watervoerende laag vernietigt door zoutwaterinfiltratie of bodemdaling, helemaal moeten worden stopgezet. In eerste instantie hebben deze reacties op watertekorten vooral lokale ge-

volgen. Maar naarmate steeds meer landen hiertoe worden gedwongen, worden de gevolgen internationaal voelbaar. De eerste symptomen hiervan zijn waarschijnlijk hogere graanprijzen.

Waterarme landen voorzien vaak in de groeiende behoeften van steden en industrie door water af te leiden van irrigatie en graan te importeren om het daaruit voortvloeiende productie-verlies te compenseren. Aangezien een ton graan gelijk staat aan 1000 ton water, is graanimport de meest efficiënte manier om water te importeren... Hoewel militaire conflicten om water altijd mogelijk zijn, lijkt toekomstige concurrentie om water eerder plaats te vinden op de wereldgraanmarkten... Iran en Egypte ... importeren nu meer tarwe dan Japan, van oudsher 's werelds grootste importeur. De import voorziet in 40 procent of meer van de totale graanconsumptie ... in beide landen.... Tal van andere waterarme landen importeren ook een groot deel van hun graan. Marokko importeert de helft van zijn graan. Voor Algerije en Saoedi-Arabië ligt dit cijfer boven de 70 procent. Jemen importeert bijna 80 procent van zijn graan en Israël meer dan 90 procent.... China zal binnenkort gedwongen worden zich tot de wereldgraanmarkt te wenden.^{Q38}

De gevolgen voor een samenleving die haar waterlimiet overschrijdt, hangen af van de vraag of de samenleving rijk of arm is, of zij burens heeft met een wateroverschot en of zij goed met die burens kan opschieten. Rijke samenlevingen kunnen graan importeren. Rijke samenlevingen met welwillende burens, zoals Zuid-Californië, kunnen kanalen, pijpleidingen en pompen aanleggen om water te importeren. (Hoewel in dat geval sommige burens hun water terug beginnen

op te eisen.) Rijke samenlevingen met grote oliereserves, zoals Saoedi-Arabië, kunnen fossiele energie gebruiken om zeewater te ontzilten. (Zolang de fossiele brandstoffen meegaan.) Rijke samenlevingen die geen van beide hebben, zoals Israël, kunnen ingenieuze technologieën bedenken om elke druppel water zo efficiënt mogelijk te gebruiken en hun economieën verschuiven naar activiteiten die het minst waterintensief zijn. Sommige landen kunnen militair geweld gebruiken om de watervoorraden van hun burens te onteigenen of zich de toegang daartoe te verzekeren. Samenlevingen die geen van deze voordelen hebben, moeten strenge rantsoenerings- en reguleringsmaatregelen ontwikkelen, of hongersnood en/of interne conflicten over water ondergaan.^{Q39}

[098] Net als bij voedsel zijn er tal van manieren om te werken aan waterduurzaamheid, niet door te proberen meer te produceren, maar door veel effectiever gebruik te maken van minder. Hieronder volgt een korte lijst met mogelijkheden:^{Q40}

- Stem de waterkwaliteit af op het gebruik. Spoel bijvoorbeeld toiletten of besproei gazons met grijs water uit gootstenen in plaats van met drinkwater.
- Gebruik druppelirrigatie, waarmee het waterverbruik met 30 tot 70 procent kan worden verminderd en de opbrengst met 20 tot 90 procent kan worden verhoogd.
- Installeer kranen, toiletten en wasmachines met een laag waterverbruik. Het gemiddelde waterverbruik van huishoudens in de VS van 0,3 kubieke meter per persoon per dag kan met de helft worden verminderd door efficiënte

waterbesparende apparaten, die zowel beschikbaar als betaalbaar zijn.

- Repareer lekken. Het is verbazingwekkend hoeveel gemeentelijke waterbedrijven geld uitgeven aan het vergroten van de watervoorziening, terwijl ze voor een fractie van de kosten evenveel water zouden kunnen verkrijgen door lekken te repareren. De gemiddelde Amerikaanse stad verliest ongeveer een kwart van het leidingwater door lekken.
- Plant gewassen die geschikt zijn voor het klimaat, bijvoorbeeld door geen waterintensieve gewassen zoals alfalfa of maïs in de woestijn te verbouwen en door te tuinieren met inheemse planten die geen water nodig hebben.
- Recycle water. Sommige industrieën, met name in het waterarme Californië, hebben baanbrekend werk verricht op het gebied van efficiënte, kosteneffectieve technieken voor het terugwinnen, zuiveren en hergebruiken van water.
- Vang regenwater op in stedelijke gebieden. Een regenbak of opvangsysteem op daken kan evenveel afstromend water opslaan en gebruiken als een grote dam, maar tegen veel lagere kosten.

Een van de beste manieren om deze goede praktijken in de praktijk te brengen, is door te stoppen met het subsidiëren van water. Als de waterprijs zelfs maar gedeeltelijk de volledige financiële, sociale en milieukosten van de levering van dat water zou gaan dekken, zou een verstandiger gebruik au-

tomatisch volgen. Zowel Denver als New York ontdekten dat alleen al het meten van het waterverbruik in de stad, met een tarief dat stijgt naarmate het verbruik toeneemt, het verbruik van huishoudens met 30 tot 40 procent verminderde.

[099] En dan is er nog de klimaatverandering (waarover hieronder meer). Als de mensheid deze verandering laat voortschrijden, kan dit overal ter wereld gevolgen hebben voor de waterkringloop, de oceaanstromingen, de neerslagen afvoerpatronen, de doeltreffendheid van dammen en irrigatiesystemen en andere vormen van wateropslag en -voorziening. Waterduurzaamheid is niet mogelijk zonder klimaatduurzaamheid, wat energie-duurzaamheid betekent. De mensheid heeft te maken met één groot, onderling verbonden systeem.

Bossen

Er is een duidelijke wereldwijde trend naar een enorm verlies aan bosgebied.... De huidige trends wijzen op een versnelling van het verlies aan bosgebied, het verlies van resterende oerbossen en een voortschrijdende vermindering van de interne kwaliteit van de resterende bosbestanden.... Een groot deel van het resterende bos raakt steeds verder verarmd en alles wordt bedreigd.

-WERELDCOMMISSIE VOOR BOSSEN EN
DUURZAME ONTWIKKELING, 1999

Een – *goed ecologisch* – bestand bos is een hulpbron op zich, die vitale functies vervult die niet in economische termen

kunnen worden uitgedrukt. Bossen temperen het klimaat, beheersen overstromingen en slaan water op tegen droogte. Ze dempen de erosieve effecten van regenval, bouwen en houden de bodem op hellingen vast en houden rivieren en zeekusten, irrigatiekanalen en damreservoirs vrij van slib. Ze bieden onderdak en voedsel aan vele soorten levende wezens. Alleen al de tropische bossen, die slechts 7 procent van het aardoppervlak bedekken, zouden het leefgebied zijn van minstens 50 procent van alle soorten op aarde. Veel van die soorten, van rotanranken tot paddestoelen en bronnen van medicijnen, kleurstoffen en voedsel, hebben commerciële waarde en kunnen niet bestaan zonder de bomen die hun habitat vormen.

Bossen nemen een grote hoeveelheid koolstof op en slaan deze op, wat helpt om de hoeveelheid kooldioxide in de atmosfeer in evenwicht te houden en zo het broeikaseffect en de opwarming van de aarde te verminderen. En last but not least zijn ongerepte bossen prachtige, geliefde plekken voor recreatie en het herstel van de menselijke ziel.

[100] Vóór de komst van de landbouw door de mens was er zes tot zeven miljard hectare bos op aarde. Nu is dat nog maar 3,9 miljard, als we de ongeveer 0,2 miljard hectare bosaanplant meerekenen. Meer dan de helft van het verlies aan natuurlijke bossen in de wereld heeft zich sinds 1950 voorgedaan. Tussen 1990 en 2000 is het areaal aan natuurlijke bossen met 160 miljoen hectare, ofwel ongeveer 4 procent, afgenomen.^{Q41} Het grootste deel van dit verlies vond plaats in de tropen: De vernietiging van de gematigde bossen vond al lang vóór 1990 plaats, tijdens de industrialisatie

van Europa en Noord-Amerika.

Bosverlies is een duidelijk teken van onduurzaamheid: een voorraad hernieuwbare hulpbronnen slinkt. Maar zoals zo vaak het geval is, gaan achter de duidelijke mondiale trend ingewikkelde lokale verschillen schuil.

We moeten onderscheid maken tussen twee maatstaven voor bosrijkdom: oppervlakte en *kwaliteit*. Er is een enorm verschil tussen een hectare ongerept bos met bomen van honderden jaren oud en een opnieuw begroeide kaalgekapte bosgrond waar de komende 50 jaar geen economisch waardevolle bomen zullen groeien en die misschien nooit meer de ecologische diversiteit van een oerbos zal hebben. Toch maken veel landen in hun gegevens over bosoppervlakte geen onderscheid tussen deze twee.

De kwaliteit van bossen is veel moeilijker te meten dan de oppervlakte. De minst omstreden kwaliteitsgegevens hebben juist betrekking op de oppervlakte: het zijn de statistieken over de resterende oppervlakte van bossen die nog nooit zijn gekapt (ook wel oerbossen, grensbossen of oude bossen genoemd). Het lijkt geen twijfel dat deze waardevolle bossen in hoog tempo worden omgevormd tot bossen met een lagere waarde.

Slechts een vijfde (1,3 miljard hectare) van de oorspronkelijke bosbedekking van de aarde bestaat nog uit grote stukken relatief ongerepte natuurlijke bossen.^{Q42} De helft daarvan bestaat uit boreale bossen in Rusland, Canada en Alaska; het grootste deel van de rest is tropisch regenwoud in het Amazonegebied. Grote gebieden worden bedreigd door

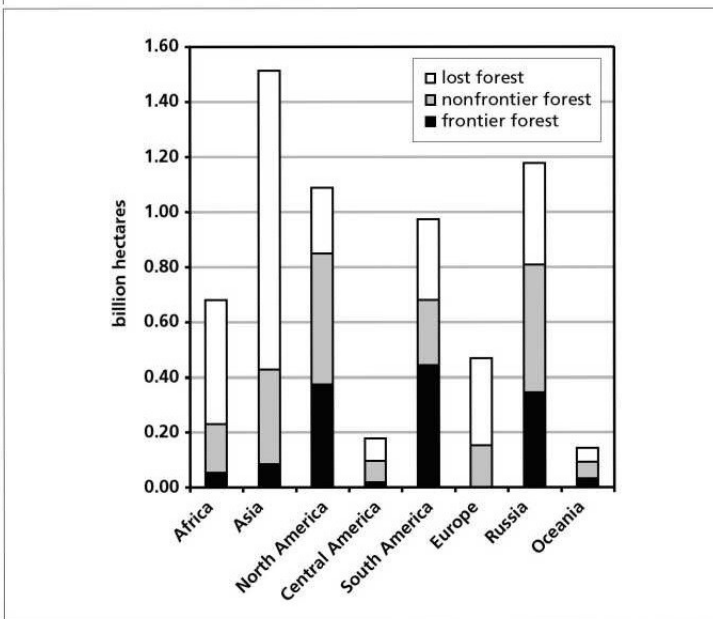
houtkap, mijnbouw, ontginning voor landbouw en andere menselijke activiteiten. Slechts ongeveer 0,3 miljard hectare is formeel beschermd (en een deel van deze bescherming bestaat alleen op papier; in veel van deze bossen worden het hout en/of de wilde dieren systematisch gestroopt).

De Verenigde Staten (exclusief Alaska) hebben 95 procent van hun oorspronkelijke bosareaal verloren. Europa heeft in wezen geen oerbos meer. China heeft driekwart van zijn bossen en bijna al zijn grensbossen verloren. (Zie **figuur 3-7.**) Gekapte maar opnieuw gegroeide (secundaire) bossen in gematigde zones nemen licht in oppervlakte toe, maar veel daarvan gaan achteruit in bodemvoedingsstoffen, soortensamenstelling, boomgrootte, houtkwaliteit en groeisnelheid; ze worden niet duurzaam beheerd.

[101] Minder dan de helft van de resterende natuurlijke bossen bevindt zich in gematigde zones (1,6 miljard hectare); de rest ligt in de tropen (2,1 miljard hectare). Tussen 1990 en 2000 is het areaal natuurlijk bos in de gematigde zone slechts licht afgenomen, met ongeveer negen miljoen hectare, wat neerkomt op een verlies van ongeveer 0,6 procent in tien jaar tijd. De helft van dit natuurlijke bos is omgevormd tot intensief beheerde boomplantages voor de productie van papier of timmerhout. Daarnaast is ongeveer evenveel areaal herbebost.

Terwijl het bosareaal in gematigde streken vrijwel stabiel is gebleven, neemt het tropisch bosareaal sterk af. Volgens de FAO is tussen 1990 en 2000 meer dan 150 miljoen hectare van de resterende natuurlijke tropische bossen in de wereld – een gebied ter grootte van Mexico – omgezet voor andere

doeleinden. In de jaren negentig lijkt het verlies dus ongeveer 15 miljoen hectare per jaar te hebben bedragen, ofwel 7 procent in tien jaar tijd.



FIGUUR 3-7 Resterende oerwouden

In 1997 was slechts een klein deel van de oorspronkelijke wereldwijde bosbedekking nog ongerept “oerwoud”. (Bron: WRI.)

[102] Dat is het officiële cijfer, maar niemand weet precies hoe snel het tropisch bos wordt gekapt. De cijfers veranderen van jaar tot jaar en zijn omstreden. Dat feit op zich – dat het tempo waarin deze hulpbron verloren gaat onduidelijk is – is een van de structurele oorzaken van overschrijding.

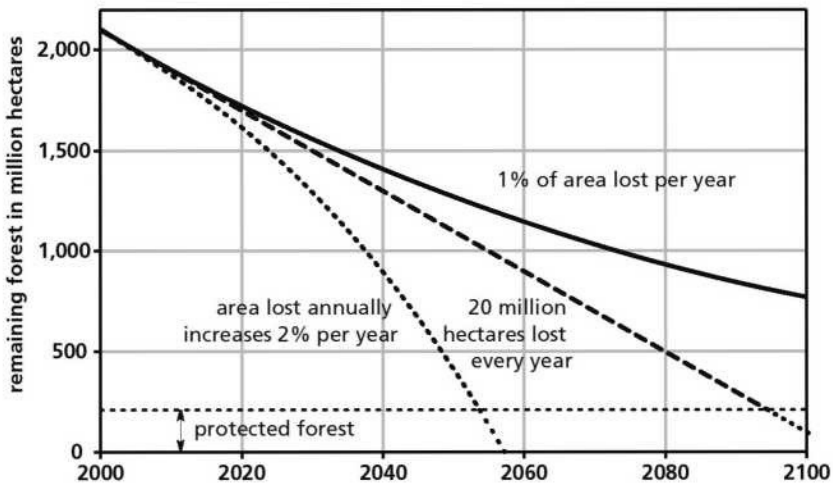
De eerste gezaghebbende poging om de tropische ontbossingscijfers te beoordelen, uitgevoerd door de FAO in 1980,

kwam uit op een cijfer van 11,4 miljoen hectare verlies per jaar. Halverwege de jaren tachtig was het geschatte cijfer gestegen tot meer dan 20 miljoen hectare per jaar. Na enkele beleidswijzigingen, met name in Brazilië, leek het tempo van het verlies in 1990 te zijn gedaald tot ongeveer 14 miljoen hectare per jaar. Een nieuwe schatting van de FAO in 1999 stelde het jaarlijkse tempo van het bosverlies, dat bijna volledig in de tropen plaatsvond, vast op 11,3 miljoen hectare per jaar. En zoals hierboven vermeld, kwam de definitieve schatting aan het einde van het decennium uit op 15,2 miljoen hectare per jaar.

Dat cijfer omvat alleen permanente omzetting naar andere vormen van landgebruik (voornamelijk landbouw en begrazing; in tweede instantie wegen en nederzettingen). Het omvat niet de houtkap (aangezien een gekapt bos nog steeds als bos wordt geteld). Ook branden worden niet meegerekend, die in 1997-1998 2 miljoen hectare in Brazilië, 2 miljoen hectare in Indonesië en 1,5 miljoen hectare in Mexico en Midden-Amerika in de as legden. (Verbrande grond wordt nog steeds als bos geclassificeerd.) Als we daar de netto snelheid waarmee het als tropisch bos aangeduide gebied ontbost, aan toevoegen, komt het totaal vrijwel zeker uit op meer dan 15 miljoen hectare per jaar, en zou het wel eens 1 procent van het bosareaal per jaar kunnen benaderen.

Ondanks de onzekerheid van de gegevens kunnen we aan de hand van ruwe cijfers een idee krijgen van het waarschijnlijke lot van het natuurlijke tropische bos als het huidige systeem ongewijzigd blijft. **Figuur 3-8** gaat uit van een geschatte totale tropische bosoppervlakte van 2,1 miljard hec-

tare in 2000. We gaan ervan uit dat het huidige verlies 20 miljoen hectare per jaar bedraagt, wat hoger is dan de officiële schatting van de FAO, om rekening te houden met branden, niet-duurzame houtkap en onderrapportage.



FIGUUR 3-8 Enkele mogelijke scenario's voor tropische ontbossing
Schattingen van het toekomstige verlies aan tropische bossen zijn afhankelijk van aannames over demografische, juridische en economische trends. In deze grafiek worden drie scenario's weergegeven. Als het verlies van 20 miljoen hectare per jaar, dat in de jaren negentig gebruikelijk was, met 2 procent per jaar blijft toenemen, zal het onbeschermd bos in 2054 verdwenen zijn. Als het tempo van het verlies constant blijft op 20 miljoen hectare per jaar, zal het onbeschermd bos rond 2094 verdwenen zijn. Als het tempo van het verlies 1 procent van het resterende onbeschermd bos per jaar bedraagt, zal het bos elke 72 jaar tot de helft van zijn omvang slinken.

De horizontale lijn in de grafiek geeft de grens aan voor de

ontbossing als 10 procent van de huidige tropische bossen beschermd blijft. (Dit is ongeveer het percentage van het tropisch bosareaal dat momenteel op enigerlei wijze beschermd is.^{Q43})

Als de ontbossingsgraad constant blijft op 20 miljoen hectare per jaar, zal het onbeschermd oerbos binnen 95 jaar verdwenen zijn. Deze mogelijkheid wordt weergegeven door de rechte stippellijn in figuur 3-8. Deze lijn geeft de situatie weer waarin de krachten die bosvernietiging veroorzaken in de komende eeuw niet sterker of zwakker worden.

Als de ontbossingsgraad exponentieel toeneemt, bijvoorbeeld in hetzelfde tempo als de bevolking van de tropische landen groeit (ongeveer 2 procent per jaar), zal het onbeschermd bos over ongeveer 50 jaar volledig verdwenen zijn. Deze curve geeft de situatie weer waarin een combinatie van bevolkingsgroei en groei van de bosproductenindustrie ervoor zorgt dat het tempo van het bosverlies exponentieel toeneemt.

Als de ontbossingsgraad een constant percentage van het resterende bos blijft (bijvoorbeeld 1 procent per jaar), zal er elk jaar iets minder worden gekapt dan het jaar ervoor, omdat er elk jaar minder bos is. Als dit zo doorgaat, zal de helft van het tropische bosgebied na 72 jaar verdwenen zijn. Deze curve geeft de situatie weer waarin elke kap de volgende kap minder waarschijnlijk maakt, misschien omdat de dichtstbijzijnde, meest waardevolle bossen als eerste worden gekapt.

[204] De werkelijke toekomst zal waarschijnlijk een combinatie van al deze mogelijkheden zijn. Naarmate de bevolkingsgroei en de economische groei de vraag naar bospro-

ducten en ontgonnen land doen stijgen, zullen de toenemende afgelegenheid en de afnemende kwaliteit de houtkap duurder maken. Tegelijkertijd zal de druk vanuit milieu- en politieke hoek waarschijnlijk toenemen om de resterende bossen te beschermen en de houtproductie te verschuiven naar hoogproductieve plantages. Hoe deze tegenstrijdige trends zich ook zullen ontwikkelen, één uitkomst lijkt onvermijdelijk: de huidige stroom van producten uit primaire tropische bossen – bossen die door de natuur zijn aangeplant en onderhouden zonder kosten voor de menselijke economie en die de tijd hebben gehad om bomen van grote omvang en waarde te laten groeien – is niet houdbaar.

Tropische bodems, klimaten en ecosystemen verschillen sterk van die in gematigde streken. Tropische bossen zijn rijker aan soorten, groeien sneller, maar zijn ook kwetsbaarder. Het is niet zeker of ze zelfs één kaalkap of brand kunnen overleven zonder ernstige aantasting van de bodem en het ecosysteem. Hoewel er experimenten worden uitgevoerd om een methode te vinden om tropische bossen selectief of in stroken te kappen zodat ze zich kunnen herstellen, worden tropische bossen, en met name de meest waardevolle boomsoorten, in de meeste huidige kapmethoden behandeld als een niet-hernieuwbare hulpbron.^{Q44}

De redenen voor het verdwijnen van tropische bossen verschillen van land tot land. Drijvende factoren zijn onder meer multinationale hout- en papierbedrijven die hun omzet willen verhogen, regeringen die de export verhogen om buitenlandse schulden af te lossen, veeboeren en boeren die bossen omvormen tot landbouw- of weidegrond, en landloze

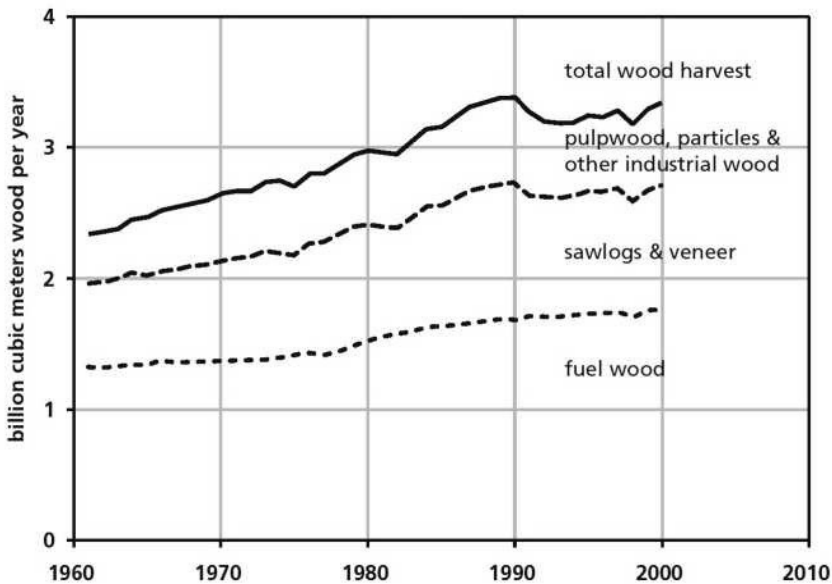
mensen die vechten om brandhout of een stukje grond om voedsel te verbouwen. Deze actoren werken vaak samen: de regering nodigt de bedrijven uit, de bedrijven kappen het hout en de armen trekken langs de houtkapwegen op zoek naar een plek om zich te vestigen.

Er is nog een andere oorzaak van niet-duurzaam bosgebruik in zowel gematigde als tropische zones. In een wereld waarin hoogwaardig hout steeds schaarser wordt, kan een enkele oude boom wel 10.000 dollar of meer waard zijn. Die waarde is een enorme verleiding. Het weggeven van bosrijksdommen in publiek bezit voor privéwinst, geheime verkoop van kapvergunningen, misleidende boekhouding, valse certificering van soorten of gekapte volumes of oppervlakten, halfslachtige handhaving van regelgeving, vriendjespolitiek, smeergeld – deze praktijken komen niet alleen in tropische gebieden voor.

De Commissie constateerde dat het meest in het oog springende probleem in de bosbouwsector – het meest voorkomende en meest flagrante, maar ook het minst besproken – het bestaan van corrupte praktijken is.^{Q45}

[105] Zelfs in de minst corrupte, meest betrokken tropische landen krimpt het bos, maar het is niet eenvoudig om te weten in welk tempo. In de editie van dit boek uit 1992 toonden we kaarten van het bosverlies in één klein land, Costa Rica. Om deze cijfers bij te werken, hebben we contact opgenomen met het Onderzoekscentrum voor Duurzame Ontwikkeling van de Universiteit van Costa Rica, maar daar vernamen we dat de gegevens over eerdere jaren moesten

worden herzien omdat er betere meettechnieken beschikbaar waren gekomen.



FIGUUR 3-9 Wereldwijd houtgebruik

Het gebruik van hout neemt nog steeds toe, zij het in een langzamer tempo. Ongeveer de helft van het hout dat uit de bossen wordt gehaald, wordt gebruikt als brandstof. (Bron: FAO.)

Het probleem van de bosontbossing wordt nog verergerd door de groeiende vraag naar bosproducten. Tussen 1950 en 1996 is het wereldwijde papierverbruik met een factor zes toegenomen. De FAO verwacht dat dit verbruik tegen 2010 zal stijgen van 280 tot 400 miljoen ton.^{Q46} In de Verenigde Staten verbruikt de gemiddelde persoon 330 kilogram papier per jaar. In de andere industrielanden verbruikt de gemiddelde persoon 160 kilogram; in de ontwikkelingslanden

slechts 17. Hoewel papierrecycling toeneemt, blijft het verbruik van nieuw hout voor pulp met 1 tot 2 procent per jaar stijgen.

Het totale verbruik van hout voor alle doeleinden – bouw-hout, papierproducten en brandhout – neemt toe, hoewel het tempo van de groei afneemt (**figuur 3-9**). Een van de redenen voor de tragere groei in de jaren negentig lijkt de teruggang van de Aziatische en Russische economieën te zijn. De afvlakking van het rondhoutverbruik kan dus een tijdelijk verschijnsel zijn. Als iedereen ter wereld evenveel hout voor alle doeleinden zou verbruiken als de gemiddelde inwoner van de industrielanden vandaag de dag, zou het totale houtverbruik meer dan verdubbelen.^{Q47}

Er zijn echter ook trends die wijzen op een afname van de vraag naar hout, zoals recycling en een efficiënter gebruik van bosproducten. Als deze trends zich doorzetten, zou de wereld gemakkelijk in haar behoefte aan houtproducten kunnen voorzien met een veel kleinere uitstroom uit de bossen. Bijvoorbeeld:

- Papierrecycling. Ongeveer de helft van het papier dat in de Verenigde Staten wordt geproduceerd, is afkomstig van gerecycled papier; in Japan is dat meer dan 50 procent en in Nederland 96 procent. Wereldwijd wordt 41 procent van het papier en karton gerecycled.^{Q48} Als de wereld Nederland zou kunnen evenaren, zou de papierrecyclage meer dan verdubbelen.
- Efficiëntie van zagerijen. Moderne zagerijen verwerken 40 tot 50 procent van de aangevoerde boomstammen tot verkoopbaar hout (en de rest tot brandstof, papier of com-

posiethout gemaakt van aan elkaar gelijmde snippers). Minder efficiënte zagerijen, vooral in ontwikkelingslanden, benutten slechts 25 tot 30 procent van elke boomstam. Als deze inefficiënte zagerijen zouden worden gemoderniseerd, zou per gekapte boom twee keer zoveel hout kunnen worden geproduceerd.^{Q49}

- Brandstofefficiëntie. Meer dan de helft van het hout dat uit bossen wordt gekapt, wordt door arme mensen gebruikt voor koken en verwarming en in kleine industrieën (baksteenproductie, brouwerijen, tabaksdroging), vaak in uiterst inefficiënte houtkachels of open vuren. Efficiëntere kachels of alternatieve brandstoffen zouden in de behoeften van de mens kunnen voorzien met veel minder bosverbruik, minder luchtvervuiling en minder arbeid om de brandstof te verzamelen.
- Efficiënt papiergebruik. De helft van de wereldwijde productie van papier en karton wordt gebruikt voor verpakkingen en reclame. Het gemiddelde Amerikaanse huishouden ontvangt 550 stuks ongevraagde “junkmail” per jaar, waarvan het grootste deel ongelezen wordt weggegooid. Ondanks het elektronische tijdperk, of misschien juist daardoor, is het papierverbruik per hoofd van de bevolking in de Verenigde Staten tussen 1965 en 1995 verdubbeld. [107] Junkmail en oververpakking kunnen worden geëlimineerd; laserprinters en faxapparaten die slechts één kant bedrukken en vele andere verspillende technologieën kunnen worden verbeterd.
- Volledige kostprijsberekening. Directe en indirecte overheidssubsidies voor houtkap kunnen worden afgeschaft en er kunnen belastingen op houtkap worden geheven die de verloren waarde van staand hout weerspiegelen, zodat de

prijzen van houtproducten een realistischer beeld geven van de werkelijke kosten.

Dergelijke maatregelen in de industrielanden zouden waarschijnlijk de hoeveelheid hout die uit de bossen wordt gehaald – en de afvalstroom aan het einde van de keten – met minstens de helft kunnen verminderen, zonder dat dit ten koste gaat van de levenskwaliteit.

Tegelijkertijd zouden de waardevolle vezels uit het bos met veel minder schade kunnen worden geproduceerd. Kaalkap, vooral op steile hellingen, zou kunnen worden vervangen door selectieve kap of strookkap. Ongekapte bufferstroken langs beken zouden erosie verminderen en aquatische ecosystemen beschermen tegen schadelijk zonlicht. Sommige dode bomen, staand en omgevallen, zouden als habitat kunnen worden gelaten.

Er is een groeiende beweging in de richting van “groene certificering”, waardoor consumenten bosproducten kunnen herkennen die zijn geproduceerd met zorgvuldige oogst- en bosbeheerpraktijken. Eind 2002 had de Forest Stewardship Council in totaal 30 miljoen hectare bos gecertificeerd als “duurzaam beheerd”. Hoewel dit aantal nog klein is, groeit het snel, wat de kracht van de markt aantoonst, in dit geval de kracht van de vraag van consumenten naar gecertificeerd hout.

Op reeds ontgonnen of marginale gronden kunnen hoogproductieve bosplantages worden uitgebreid. Boomplantages kunnen per hectare verbazingwekkende hoeveelheden hout

produceren, waardoor natuurlijke bossen worden ontlast van de druk van de houtkap.

Om een extreem voorbeeld te noemen: de tropische bosplantages met de hoogste opbrengst kunnen (in ieder geval voorlopig) maar liefst 100 kubieke meter hout per hectare per jaar opleveren. Dit is 40 keer meer dan de gemiddelde groeisnelheid van natuurlijke bossen in gematigde klimaten, die ongeveer 2,5 kubieke meter per hectare per jaar opleveren. Bij de hoge plantingsgraad zou slechts 34 miljoen hectare (een gebied ter grootte van ongeveer Maleisië) nodig zijn om de huidige wereldwijde vraag naar virgin pulp, bouw hout en brandhout te dekken. Als de productiviteit slechts half zo hoog zou zijn, 50 kubieke meter per hectare per jaar, zou 68 miljoen hectare (de grootte van Somalië) nodig zijn om aan de huidige wereldwijde vraag te voldoen. **[108]** Om de enorme productiviteit van tropische bosplantages op een duurzame manier in stand te houden, is zeker een meer “organische” evolutie van de plantagebosbouw nodig: het mengen of rouleren van soorten en het gebruik van meer natuurlijke, minder milieubelastende methoden voor bemesting en ongediertebestrijding dan momenteel het geval is.

Er zijn veel manieren om de houtkap terug te brengen tot onder duurzame grenzen. Geen van de noodzakelijke maatregelen is onmogelijk. Ze worden allemaal ergens ter wereld toegepast, maar niet overal. En dus blijven de bossen krimpen.

Hoewel het publiek zich de laatste jaren meer bewust is geworden van de gevolgen van de wereldwijde ontbossing, is de ontbossing niet merkbaar vertraagd.^{Q50}

Soorten en ecosysteemdiensten

De *Living Planet Index* is een indicator voor de toestand van het natuurlijke ecosysteem van de wereld. Hij ... heeft betrekking op de abundantie van bos-, zoetwater- en mariene soorten. De index laat een totale daling zien van ongeveer 37 procent tussen 1970 en 2000. ^{*-1)}

-WORLD WIDE FUND FOR NATURE, 2002

Bodem, water en bossen zijn voor de mens duidelijk bronnen van levensonderhoud en economische activiteit. Er is echter nog een andere reeks bronnen die minstens even belangrijk is, maar veel minder voor de hand ligt, omdat de menselijke economie er nooit een geldwaarde aan heeft toegekend. Het gaat om niet-commerciële, niet-verhandelde natuurlijke soorten, de ecosystemen die zij vormen en de ondersteunende functies die zij vervullen door de energie en materialen die nodig zijn voor al het leven op te vangen, te mobiliseren en te recyclen.

De nieuwe term voor de dagelijkse, onschatbare bijdragen van deze biotische bronnen is ecosysteemdiensten. Deze diensten omvatten:

- Zuivering van lucht en water.
- Wateropname en -opslag; beperking van droogte en overstromingen.
- Afbraak, ontgifting en opslag van afvalstoffen. [109]

1 <https://livingplanet.panda.org/> Daling 1970 – 2020 73 % !

- Regeneratie van bodemvoedingsstoffen; opbouw van de bodemstructuur.
- Bestuiving.
- Ongediertebestrijding.
- Verspreiding van zaden en voedingsstoffen.
- Matiging van extreme wind en temperaturen; gedeeltelijke stabilisatie van het klimaat.
- Levering van een breed scala aan landbouw-, medicinale en industriële producten.
- Evolutie en instandhouding van de biotische genenpool en de biodiversiteit die alle bovengenoemde taken vervult.
- Lessen in overlevings-, veerkracht-, evolutie- en diversificatiestrategieën die zich in drie miljard jaar hebben bewezen.
- Ongeëvenaarde esthetische, spirituele en intellectuele verrijking ^{Q51}

Hoewel de waarde van deze diensten niet te meten is, wordt er toch geprobeerd om ze te kwantificeren. Alle pogingen om natuurlijke diensten in geld uit te drukken, komen uit op schattingen van triljoenen dollars per jaar, wat veel hoger is dan de monetaire waarde van de jaarlijkse productie van de menselijke economie. ^{Q52}

De hierboven geciteerde meting van het WWF impliceert dat de wereld de afgelopen 30 jaar een aanzienlijk deel van zijn ecosysteemdiensten heeft verloren. Toch is dit zeer

moeilijk in kwantitatieve termen vast te stellen. De meest gebruikelijke benadering, hoewel niet erg zinvol, is te proberen het aantal soorten en de snelheid waarmee ze uitsterven te tellen.

Verrassend genoeg is dit onmogelijk. Wetenschappers weten niet eens binnen een factor 10 hoeveel soorten er zijn: het aantal wordt geschat op 3 miljoen tot 30 miljoen.^{Q53} Slechts ongeveer 1,5 miljoen zijn benoemd en geclassificeerd. Dit zijn meestal de grote, opvallende soorten: de groene planten, de zoogdieren, vogels, vissen en reptielen. De wetenschap weet veel minder over de talloze soorten insecten en nog minder over microben.

Aangezien niemand weet hoeveel soorten er zijn, kan niemand precies weten hoeveel er verloren gaan. Maar het lijdt geen twijfel dat het aantal soorten snel afneemt. De meeste biologen aarzelen niet om te zeggen dat er een “massa-uitsterving” gaande is.^{Q54} Ecologen beweren dat er sinds de gebeurtenissen die 65 miljoen jaar geleden aan het einde van het Krijt de dinosauriërs hebben uitgeroeid, geen dergelijke uitstervingsgolf meer heeft plaatsgevonden.

[110] Ze komen tot deze conclusies voornamelijk op basis van de snelheid waarmee habitats verdwijnen. Bijvoorbeeld:

- Madagaskar is een schatkamer van leven; in het oostelijke oerwoud leven 12.000 bekende plantensoorten en 190.000 bekende diersoorten, waarvan minstens 60 procent nergens anders op aarde voorkomt. Meer dan 90 procent van dat oerwoud is gekapt, voornamelijk voor landbouw.
- In het westen van Ecuador groeiden ooit 8.000 tot 10.000

plantensoorten, waarvan ongeveer de helft endemisch was. Elke plantensoort ondersteunt tussen de 10 en 30 diersoorten. Sinds 1960 zijn bijna alle bossen in het westen van Ecuador omgevormd tot bananenplantages, olievelden en menselijke nederzettingen.

Zoals te verwachten valt, vinden de meeste uitstervingen plaats waar de meeste soorten voorkomen. Dit zijn voornamelijk tropische bossen, koraalriffen en wetlands. Ten minste 30 procent van de koraalriffen wereldwijd verkeert in kritieke toestand en 95 procent van de riffen die in 1997 wereldwijd zijn onderzocht, vertoonden tekenen van achteruitgang en soortenverlies.^{Q55} Wetlands zijn nog meer bedreigd. Het zijn plaatsen met een intense biologische activiteit, waar onder meer vele vissoorten broeden. Slechts 6 procent van het aardoppervlak bestaat uit wetlands – of bestond daaruit. Ongeveer de helft van de wetlands is verloren gegaan door baggeren, opvullen, drooglegging en het graven van sloten. Daarbij komt nog wat er door vervuiling is aangetast.

Schattingen van de wereldwijde uitstervingspercentages gaan uit van metingen van habitatverlies, die vrij nauwkeurig zijn. Vervolgens wordt een schatting gemaakt van het aantal soorten dat in de verloren gegane habitat zou kunnen voorkomen; die schattingen zijn noodzakelijkerwijs onzeker. Vervolgens wordt een verband verondersteld tussen habitatverlies en soortenverlies. De vuistregel is dat 50 procent van de soorten zal overblijven, zelfs als 90 procent van de habitat verdwenen is.

Deze berekeningen zijn onderwerp van veel discussie.^{Q56}

Maar net als bij andere cijfers waar we in dit hoofdstuk mee worstelen, is de algemene richting duidelijk. Van de grote dieren die relatief goed zijn bestudeerd, schatten wetenschappers nu dat 24 procent van de 4700 zoogdiersoorten in de wereld, naar schatting 30 procent van de 25.000 vissoorten en 12 procent van de bijna 10.000 vogelsoorten in de wereld met uitsterven worden bedreigd.^{Q57} [111] Hetzelfde geldt voor 34.000 van de 270.000 bekende plantensoorten.^{Q58} De geschatte uitstervingspercentages zijn nu 1000 keer hoger dan zonder menselijke invloed.^{Q59}

Het verlies van soorten is geen bevredigende manier om de duurzaamheid van de biosfeer te meten, omdat niemand weet waar de grenzen liggen. Hoeveel soorten, en welke, kunnen uit een ecosysteem worden verwijderd voordat het hele systeem instort? De vergelijking is gemaakt met vliegen in een vliegtuig en het verwijderen van de klinknagels die het vliegtuig bij elkaar houden – één voor één – en je afvragen hoeveel klinknagels eruit kunnen voordat het vliegtuig niet meer vliegt. In een vliegtuig zijn de klinknagels tenminste niet met elkaar verbonden. In ecosystemen zijn de soorten dat wel. Als er één verdwijnt, kan dat in een lange keten van reacties andere soorten met zich meesleuren.

Gezien de moeilijkheid om te meten hoe snel het aantal soorten op aarde afneemt, heeft het WWF in zijn [*Living Planet Index*](#) gekozen voor een andere methode om de afname van de biologische rijkdom te kwantificeren. In plaats van de afname van het aantal soorten te volgen, volgt het WWF de populatiegrootte van een groot aantal verschillende soorten. Deze trends worden vervolgens gemiddeld om

een kwantitatieve schatting te krijgen van de verandering in de populatie van een “typische” soort in de loop van de tijd. Met deze methode heeft het WWF geconcludeerd dat de “gemiddelde” populatie van soorten sinds 1970 met meer dan een derde is afgenomen.^{Q60} Met andere woorden, het aantal dieren, planten en vissen neemt sterk af. Het is duidelijk dat de bron van ecosysteemdiensten op een niet-duurzame manier wordt gebruikt. Dit punt werd krachtig naar voren gebracht in een oproep uit 1992, “*World Scientists’ Warning to Humanity*” (Waarschuwing van wetenschappers aan de mensheid). Deze oproep werd ondertekend door ongeveer 1700 vooraanstaande wetenschappers uit de hele wereld, waaronder de meeste Nobelprijswinnaars voor de wetenschappen.

Onze ingrijpende verstoring van het onderling afhankelijke web van leven op aarde, in combinatie met de milieuschade als gevolg van ontbossing, het uitsterven van soorten en klimaatverandering, kan wijdverbreide negatieve effecten hebben, waaronder onvoorspelbare ineenstortingen van cruciale biologische systemen waarvan we de interacties en dynamiek nog maar onvolledig begrijpen. Onzekerheid over de omvang van deze gevolgen mag geen excuus zijn voor zelfgenoegzaamheid of uitstel bij het aanpakken van de bedreigingen.⁶¹

Niet-hernieuwbare bronnen

Fossiele brandstoffen

Onze analyse van de ontdekking en productie van olievelden over de hele wereld wijst erop dat de vraag naar conventionele olie binnen tien jaar niet meer zal kunnen worden voldaan.... De wereldwijde ontdekking van olie bereikte een hoogtepunt in het begin van de jaren zestig en is sindsdien gestaag gedaald.... Er is maar een beperkte hoeveelheid ruwe olie in de wereld en de industrie heeft ongeveer 90 procent daarvan gevonden.

-COLIN J. CAMPBELL EN JEAN
H. LAHERRSRE, 1998

Op dit moment is er weinig reden tot bezorgdheid over de aardolievoorziening op korte termijn ... De aardolievoorraden in de wereld zijn echter eindig en de wereldwijde productie zal uiteindelijk een piek bereiken en vervolgens beginnen te dalen.... Meer conventionele schattingen suggereren dat de wereldwijde productie pas over een decennium of twee, ergens tussen 2010 en 2025, een piek zal bereiken.

-WORLD RESOURCES, 1997

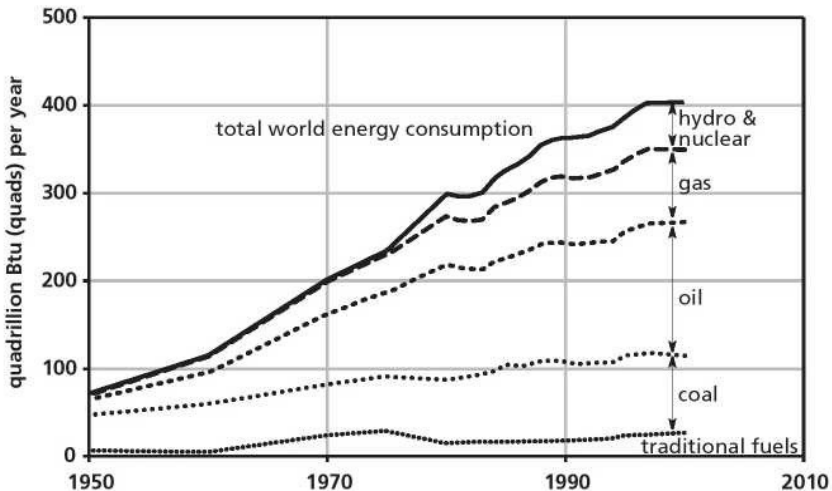
Optimisten en pessimisten verschillen enkele decennia van mening over het tijdstip waarop de productie zijn hoogtepunt zal bereiken. Maar er bestaat een brede consensus dat aardolie de meest beperkte van de belangrijke fossiele

brandstoffen is en dat de wereldwijde productie ervan ergens in de eerste helft van deze eeuw een maximum zal bereiken. Het jaarlijkse energieverbruik van de menselijke economie is tussen 1950 en 2000 met gemiddeld 3,5 procent per jaar gestegen. Het wereldwijde energieverbruik is ongelijkmatig maar onstuitbaar gestegen door oorlogen, recessies, prijsinstabiliteit en technische veranderingen (**figuur 3-10**). Het grootste deel van die energie wordt gebruikt in de geïndustrialiseerde wereld. De gemiddelde West-Europeaan verbruikt 5,5 keer zoveel commerciële energie^{Q62} als de gemiddelde Afrikaner. De gemiddelde Noord-Amerikaan verbruikt negen keer zoveel als de gemiddelde Indiër.^{Q63} Maar dat is commerciële energie, waar velen het zonder moeten stellen:

Meer dan een kwart van de wereldbevolking heeft geen toegang tot elektriciteit en twee vijfde is voor zijn basisbehoefte aan energie nog steeds voornamelijk afhankelijk van traditionele biomassa. Hoewel het aantal mensen zonder stroomvoorziening de komende decennia zal dalen, zullen naar verwachting in 2030 nog steeds 1,4 miljard mensen zonder elektriciteit zitten. En het aantal mensen dat hout, gewasresten en dierlijk afval als belangrijkste brandstof voor koken en verwarming gebruikt, zal zelfs toenemen^{Q64}

De meeste energieanalisten verwachten dat het wereldwijde energieverbruik zal blijven stijgen. Het “referentiescenario” dat het Internationaal Energieagentschap in zijn hierboven geciteerde *World Energy Outlook 2002* presenteert, beschrijft een stijging van het wereldwijde primaire energie-

verbruik met twee derde tussen 2000 en 2030. En zelfs het “alternatieve” (meer ecologisch) scenario impliceert een stijging van meer dan 50 procent van het wereldwijde energieverbruik in deze periode van 30 jaar.



FIGUUR 3-10 Wereldwijd energieverbruik

Het wereldwijde energieverbruik is tussen 1950 en 2000 verdrievoudigd. Fossiele brandstoffen domineren nog steeds de primaire energievoorziening: het aandeel van steenkool bereikte een hoogtepunt rond 1920, toen het meer dan 70 procent van alle verbruikte brandstof uitmaakte; het aandeel van olie bereikte begin jaren tachtig een hoogtepunt van iets meer dan 40 procent. Aardgas, dat minder vervuilend is dan steenkool of olie, zal naar verwachting in de toekomst een grotere bijdrage leveren aan het wereldwijde energieverbruik. (Bronnen: VN; U.S. DoE.)

Een gedetailleerde analyse van het Deense Energieagentschap berekent dat om 9,3 miljard mensen – wat wel eens de wereldbevolking in 2050 zou kunnen zijn – van al hun ba-

sisbehoeften aan energie te voorzien, zes keer zoveel energie (eindverbruik) nodig zou zijn als de wereld in 2000 leverde.^{Q65}

[114] Meer dan 80 procent van het commerciële energieverbruik in 2000 is afkomstig van niet-hernieuwbare fossiele brandstoffen: olie, aardgas en steenkool. De ondergrondse voorraden van deze fossiele brandstoffen nemen voortdurend en onverbiddelijk af. Om te bepalen of dit een duurzaamheidsprobleem is aan de bronzijde van de stroom (we komen later op de afvoerzijde terug), moeten we ons afvragen hoe snel deze bronnen uitgeput raken en of er snel genoeg hernieuwbare vervangingsmiddelen worden ontwikkeld om de daling te compenseren.

Er bestaat enorme verwarring over deze kwestie, zelfs over de vraag of deze inherent niet-hernieuwbare brandstoffen wel degelijk uitgeput raken. De verwarring komt voort uit het letten op de verkeerde signalen. Een hulpbron is een concept dat betrekking heeft op de totale hoeveelheid van een materiaal in de aardkorst; een reserve is een concept dat betrekking heeft op de hoeveelheid van het materiaal die is ontdekt of waarvan het bestaan wordt verondersteld en die kan worden gebruikt, uitgaande van redelijke aannames over technologie en prijs. Hulpbronnen nemen onvermijdelijk af naarmate ze worden gebruikt, maar de reserves kunnen toenemen naarmate er meer wordt ontdekt, de prijzen stijgen en de technologie verbetert. Er bestaat een neiging om uitspraken over hulpbronnen te doen op basis van observaties van reserves.

Tussen 1970 en 2000 verbruikte de wereldeconomie 700

miljard vaten olie, 87 miljard ton steenkool en 1.800 biljoen kubieke voet aardgas. – ca. 160 biljoen m³ – In diezelfde periode van 30 jaar werden echter nieuwe olie-, steenkool- en gasvoorraden ontdekt (en werden oude voorraden naar boven bijgesteld). Als gevolg daarvan is de verhouding tussen de bekende reserves en de productie^{Q66} – het aantal jaren dat de bekende en exploiteerbare hulpbronnen meegaan als de productie op het huidige niveau blijft – zelfs gestegen, zoals blijkt uit **tabel 3-1**.

TABEL 3-1 Jaarlijkse productie, reserve/productieverhouding (R/P) en verwachte levensduur van de reserves voor olie, gas en steenkool

	1970 Production (per year)	1970 R/P (years)	2000 Production (per year)	2000 R/P (years)	Resource Life Expectancy (years)
OIL	17 billion barrels	32	28 billion barrels	37	50–80
GAS	38 trillion cu. ft.	39	88 trillion cu. ft.	65	160–310
COAL	2.2 billion tons	2300	5.0 billion tons	217	very large

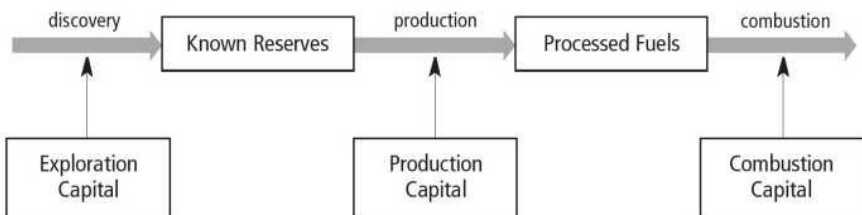
De schattingen van de hulpbronnen worden gedefinieerd als de som van de “geïdentificeerde reserves” en de “conventionele hulpbronnen die nog ontdekt moeten worden”. Een hulpbron gedeeld door de productie in 2000 levert de levensverwachting van die hulpbron op. Het cijfer voor de steenkoolreserves in 1970 is niet vergelijkbaar met het cijfer voor 2000 vanwege verschillende definities van reserves. Steenkool was en is nog steeds de meest voorkomende fossiele brandstof. (Bronnen: U.S. Bureau of Mines; U.S. DoE)

Deze stijging van de verhouding tussen reserves en productie vond plaats ondanks de aanzienlijke toename van het verbruik van gas (met ongeveer 130 procent tussen 1970 en

2000), olie (met ongeveer 60 procent) en steenkool (met ongeveer 145 procent). Maar betekent deze stijging dat er in 2000 meer fossiele brandstoffen in de grond zaten om de menselijke economie van energie te voorzien dan in 1970?

Nee, natuurlijk niet. Na drie decennia van exploitatie waren er 700 miljard vaten olie minder, 87 miljard ton steenkool minder en 160 biljoen kubieke meter aardgas minder. Fossiele brandstoffen zijn niet-hernieuwbare hulpbronnen. Wanneer ze worden verbrand, veranderen ze in kooldioxide, waterdamp, zwaveldioxide en een aantal andere stoffen, die op geen enkele voor de mensheid relevante tijdschaal weer samenkomen om opnieuw fossiele brandstoffen te vormen. Het zijn veeleer afvalstoffen en verontreinigende stoffen die in de planetaire putten terechtkomen.

[115] Degenen die de ontdekkingen van de afgelopen 30 jaar zien als een indicatie dat er geen onmiddellijke grenzen zijn aan fossiele brandstoffen, kijken slechts naar een deel van het energiesysteem:

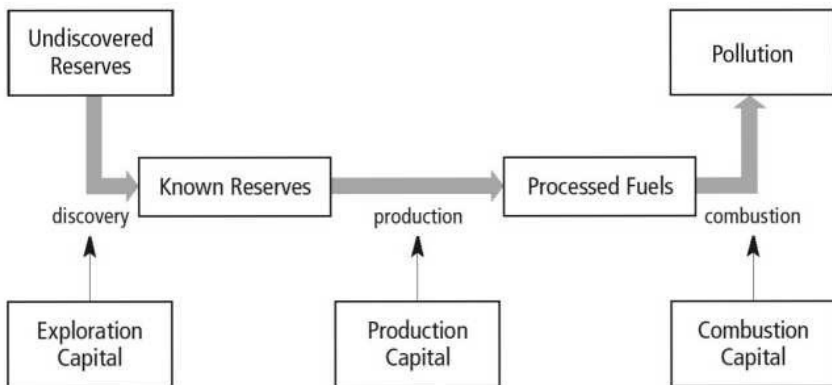


Bekende reserves tot verwerkte brandstoffen

Het *ontdekkingsproces* maakt gebruik van *exploratiekapitaal* (boorinstallaties, vliegtuigen, satellieten, een geavanceerd netwerk van peilapparatuur en sondes) om fossiele

brandstofvoorraden in de aarde te vinden en zo de bekende reserves die zijn geïdentificeerd maar nog niet gewonnen, te vergroten. Het *productieproces* haalt die voorraad uit de grond met behulp van *productiekapitaal* (mijnbouw-, pomp-, raffinage- en transportapparatuur) en levert deze aan de plaatsen waar de verwerkte brandstoffen worden opgeslagen. Daar worden de verwerkte brandstoffen door *verbrandingskapitaal* (ovens, auto's, elektriciteitsgeneratoren) verbrand, waardoor bruikbare warmte ontstaat.^{Q67}

Zolang de ontdekkingssnelheid hoger is dan de productiesnelheid, stijgt de voorraad bekende reserves. Maar het bovenstaande diagram toont slechts een deel van het systeem. Een completer diagram zou ook de uiteindelijke bronnen en putten voor fossiele brandstoffen omvatten:



Onontdekte reserves tot vervuiling

[116] Naarmate de *productie* de voorraad *bekende reserves* vermindert, investeert de mensheid in ontdekkingen om deze aan te vullen. Maar elke ontdekking komt uit de uitein-

delijke voorraad fossiele brandstoffen in de aarde, die niet wordt aangevuld. De voorraad *onontdekte reserves* is misschien wel erg groot, maar hij is eindig en niet hernieuwbaar.

Aan het andere eind van de stroom produceert verbranding verontreinigende stoffen, die terechtkomen in de uiteindelijke put: de biogeochemische processen van de planeet, die verontreinigende stoffen recyclen, onschadelijk maken of door hen worden vergiftigd of afgebroken. In alle andere stadia van de fossiele brandstofstroom, van ontdekking tot productie, raffinage, transport en opslag, komen ook verschillende soorten verontreinigende stoffen vrij. Hoewel indrukwekkende verbeteringen in eco-efficiëntie in het afgelopen decennium de uitstoot van verontreinigende stoffen door goed beheerde activiteiten hebben verminderd, is energieproductie nog steeds een belangrijke bron van grondwaterverontreiniging in de Verenigde Staten.

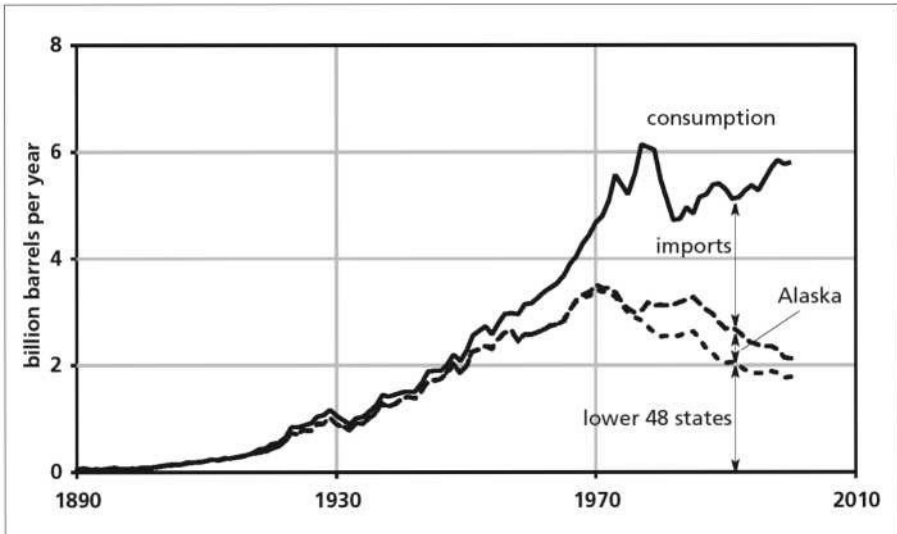
Niemand weet echt welk uiteinde van de stroom fossiele brandstoffen beperkender zal zijn, de bron of de put. Dertig jaar geleden, aan de vooravond van de OPEC-olieprijsstijgingen, leek het uiteinde van de bron de voor de hand liggende bottleneck. Tegenwoordig ligt de focus veel meer op klimaatverandering, waardoor de afvoer een grotere beperking lijkt te vormen. Er is zoveel steenkool dat we denken dat het gebruik ervan zal worden beperkt door de opslagcapaciteit van de atmosfeer voor kooldioxide. Olie kan aan beide kanten beperkt zijn. De verbranding ervan produceert broeikasgassen en andere verontreinigende stoffen, en het zal zeker de eerste fossiele brandstof zijn die aan de bron

uitgeput raakt. Gas wordt momenteel door velen gezien als de grondstof die de energieproductie in stand kan houden totdat duurzame energiebronnen op grote schaal worden toegepast. [117] Maar traditioneel heeft de samenleving 50 jaar nodig gehad om de overgang van de ene dominante energiebron naar de andere te maken. In de tussentijd kan de wereld welvaart verliezen: hetzij door klimaatverandering, hetzij door beperkingen op het gebruik van fossiele brandstoffen.

Schattingen van de nog niet ontdekte olie- en gasreserves lopen sterk uiteen en kunnen nooit met zekerheid worden vastgesteld, maar we hebben in **tabel 3-1** een reeks schattingen opgenomen. Deze schattingen worden weergegeven als brede bandbreedtes vanwege de inherente onzekerheid. Ze laten zien dat de resterende olievoorraden (gedefinieerd als de som van de huidige en nog niet ontdekte reserves) bij het verbruik van 2000 nog 50 tot 80 jaar mee kunnen gaan, terwijl aardgas nog 160 tot 310 jaar mee kan gaan. Steenkool is nog overvloediger aanwezig. De kosten voor de winning van de grondstoffen zullen natuurlijk stijgen naarmate de voorraden slinken. En politieke kosten kunnen de productiekosten nog verder opdrijven: in 2000 was 30 procent van de wereldwijde olieproductie afkomstig uit het Midden-Oosten en 11 procent uit de voormalige Sovjet-Unie; **samen bezitten deze twee regio's tweederde van alle bekende oliereserves.**

De uitputting van de olievoorraden zal niet plotseling optreden, alsof de kraan wordt dichtgedraaid. Het zal zich eerder manifesteren in een steeds lager rendement op investeringen in exploratie, een toenemende concentratie van de resterende reserves in een klein aantal landen en uiteindelijk een

piek en een geleidelijke daling van de totale wereldproductie. De Verenigde Staten vormen een goed voorbeeld. Meer dan de helft van hun oorspronkelijke enorme olievoorraden is al verbruikt. De ontdekking van nieuwe olie bereikte een hoogtepunt in de jaren veertig en vijftig, de binnenlandse olieproductie piekte rond 1970 en het olieverbruik wordt steeds meer gedekt door invoer (zie **figuur 3-11**).

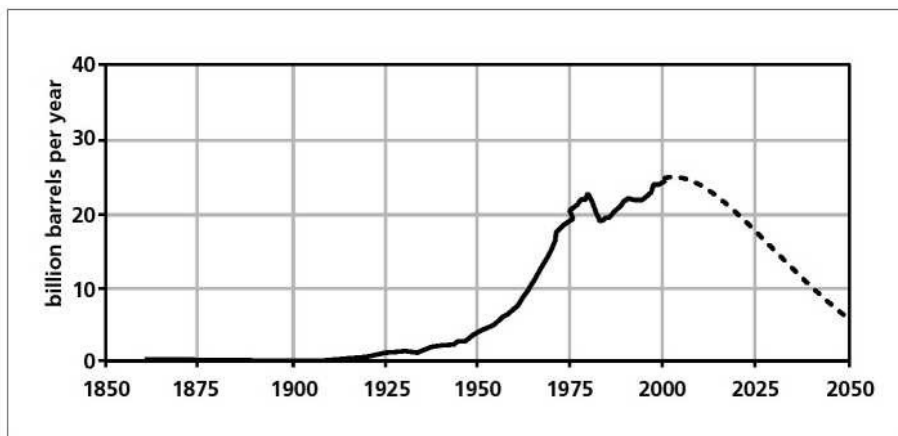


FIGUUR 3-11 Olieproductie en -verbruik in de VS

De binnenlandse olieproductie in de VS bereikte een hoogtepunt in 1970 en is sindsdien in de 48 staten met 40 procent gedaald. Zelfs nieuwe vondsten in Alaska hebben deze daling niet kunnen compenseren. (Bronnen: API; EIA/DoE.)

Hetzelfde staat op het punt te gebeuren op mondiaal niveau. **Figuur 3-12** toont twee scenario's voor de mondiale olieproductie, gebaseerd op aannames over de beschikbare hulpbronnen die vergelijkbaar zijn met die in tabel 3-1. De ver-

wachting is dat het olieconsumptie nooit veel zal stijgen ten opzichte van het huidige niveau en vervolgens, na enkele decennia, geleidelijk zal dalen gedurende de rest van de eenentwintigste eeuw. Dergelijke scenario's worden ondersteund door het feit dat de wereldwijde ontdekkingspercentages al in de jaren zestig een piek bereikten en dat nu steeds moeilijker toegankelijke – en dus duurder – bronnen worden geëxploiteerd, niet alleen in Alaska, maar ook in de diepe wateren van de Noordelijke IJszee en in het afgelegen Siberië.

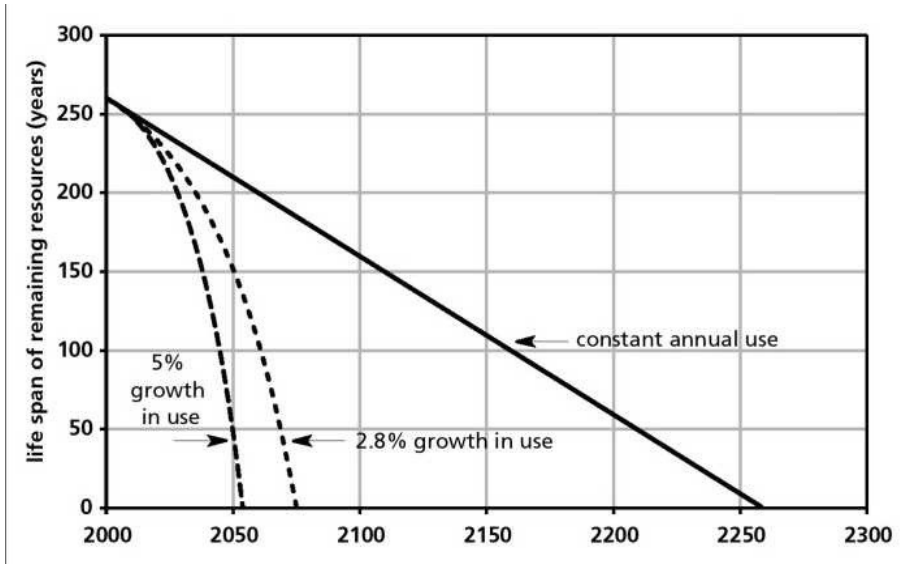


FIGUUR 3-12 Scenario's voor de wereldwijde olieproductie

De wereldwijde olieproductie tot het jaar 2000 wordt weergegeven door de ononderbroken lijn. De methoden van geoloog M. King Hubbert zijn gebruikt om de meest waarschijnlijke toekomstige productie te schatten. De stippellijnen aan de rechterkant geven de waarschijnlijke productiesnelheden weer als de uiteindelijk ontginningsbare olie 1,8 biljoen vaten bedraagt (het gebied onder de onderste curve). (Bron: K. S. Deffeyes.)

Aardgas is in veel toepassingen een voor de hand liggende vervanging voor olie. Van alle fossiele brandstoffen stoot

aardgas per energie-eenheid het minste vervuilende stoffen uit, waaronder het broeikasgas CO_2 . Daarom bestaat er grote belangstelling om aardgas snel in de plaats te laten komen van olie en steenkool. Dit zal de uitputting van de gasvoorraden versnellen in een mate die degenen die de dynamiek van exponentiële groei niet volledig begrijpen, zal verrassen. **Figuren 3-13 en 3-14** laten zien waarom.



FIGUUR 3-13 Enkele mogelijke scenario's voor de uitputting van de wereldwijde gasvoorraden

Als de resterende “uiteindelijk winbare reserves” van aardgas voldoende zijn voor 260 jaar bij het verbruik van 2000, dan kan dit verbruik tot 2260 worden gehandhaafd. Maar de schaarste aan olie in combinatie met de milieuproblemen van steenkool zou het gasverbruik in de komende decennia kunnen versnellen. Als het gasverbruik met 2,8 procent per jaar blijft stijgen, zouden de veronderstelde reserves in 2075 uitgeput zijn. Bij een groei van 5 procent per jaar zouden de wereldwijde gasreserves in 2054 opgebruikt zijn.

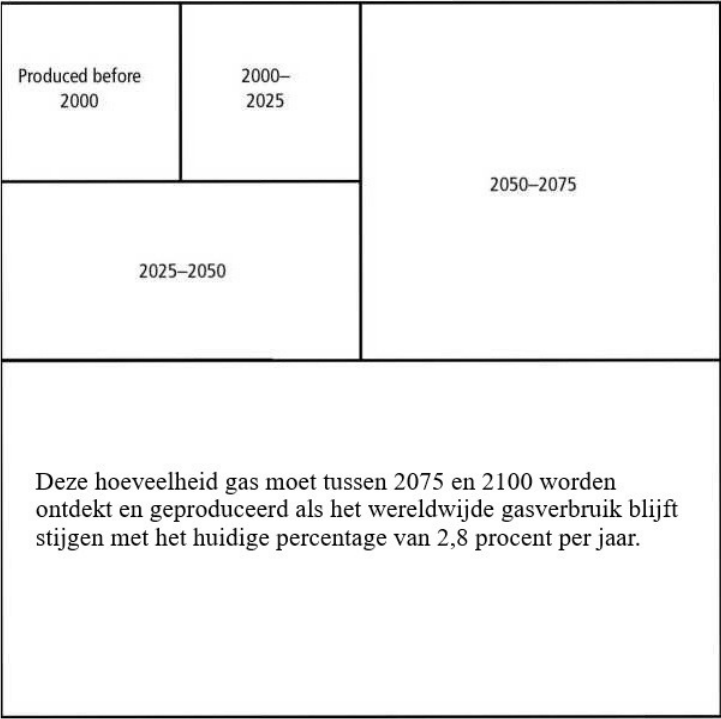
[118] In 2000 bedroeg de verhouding tussen de wereldwijde reserves en de productie van aardgas 65 jaar, wat betekent dat als de huidige bekende reserves zouden worden gebruikt tegen het verbruik van 2000, ze tot het jaar 2065 zouden meegaan. Twee dingen zullen deze eenvoudige extrapolatie onjuist maken. Ten eerste zullen er meer reserves worden ontdekt. Ten tweede zal het gasverbruik boven het niveau van 2000 stijgen.

Het is dus beter om uit te gaan van de schattingen van de resterende gasvoorraden (dat wil zeggen de som van de huidige en nog niet ontdekte reserves). Stel, ter illustratie, dat de gasvoorraden uiteindelijk voldoende blijken te zijn om de wereld 260 jaar lang te voorzien tegen het verbruik van 2000. Dit ligt ergens in het midden van de schatting van 160 tot 310 jaar in tabel 3-1. Als het verbruik van 2000 constant zou blijven, zouden de gasvoorraden lineair dalen, zoals weergegeven door de diagonale lijn in figuur 3-13, en zouden ze 260 jaar meegaan. Maar als het gasverbruik blijft groeien zoals sinds 1970, met ongeveer 2,8 procent per jaar, zouden de reserves voor 260 jaar exponentieel dalen, zoals weergegeven door de dikste gebogen lijn in figuur 3-13. Ze zouden dan niet in 2260, maar in 2075 uitgeput zijn; ze zouden niet 260, maar slechts 75 jaar meegaan.

Als de wereld, om de klimaatverandering tegen te gaan en aan de uitputting van de olievoorraden te ontsnappen, aardgas gaat gebruiken om de energiebehoefte te dekken die nu door steenkool en olie wordt gedekt, zou de groei wel eens sneller kunnen zijn dan 2,8 procent per jaar. Bij 5 procent per jaar zouden de “voorraden voor 260 jaar” binnen 54 jaar

uitgeput zijn.

[120] **Figuur 3-14** laat zien hoe de vondsten zouden moeten toenemen om een gestage groei van het aardgasverbruik met 2,8 procent per jaar mogelijk te maken. Volgens de wiskunde van exponentiële groei zou de hoeveelheid ontdekt en gewonnen gas elke 25 jaar moeten verdubbelen.



FIGUUR 3-14 Gasvondsten die nodig zijn om de groei te handhaven
Als de groei van het aardgasverbruik 2,8 procent per jaar blijft, moet er elke 25 jaar een hoeveelheid nieuw gas worden ontdekt die gelijk is aan alle eerdere vondsten.

Het punt is niet dat de wereld op het punt staat zonder aardgas te komen zitten. De aanzienlijke reserves die nog aanwezig zijn, zullen essentieel zijn als overgangsbrandstof op weg naar duurzamere energiebronnen. Het punt is dat fossiele brandstoffen verrassend beperkt zijn, vooral wanneer ze exponentieel worden gebruikt, en dat ze niet verspild mogen worden. In de tijdlijn van de menselijke geschiedenis zal het tijdperk van fossiele brandstoffen slechts een korte periode zijn.

[121] Omdat er hernieuwbare vervangingen voor fossiele brandstoffen zijn, hoeft er nooit een wereldwijde energieschaarste te ontstaan. Twee beschikbare energieopties zijn duurzaam vanaf de bron, milieuvriendelijk, technisch haalbaar en steeds economischer. Een daarvan, grotere efficiëntie, kan snel worden geïmplementeerd. De andere, hernieuwbare energie op basis van zonne-energie, zal iets meer tijd vergen. Sommigen zouden zeggen dat kernenergie tot de kleine groep potentiële oplossingen voor het wereldwijde energieprobleem behoort. Wij denken van niet, vanwege de onopgeloste problemen met de verwerking van afval en omdat de twee andere oplossingen veel haalbaarder zijn. Ze zijn sneller, goedkoper, veiliger en veel gemakkelijker te ontwikkelen in de armere landen.

Energie-efficiëntie betekent dat dezelfde eindenergiediensten – licht, warmte en koeling van ruimtes, vervoer van personen en goederen, gepompte water, aandrijving van motoren – worden geleverd, maar met minder energie. Het betekent dezelfde of een betere materiële levenskwaliteit, meestal tegen lagere kosten – niet alleen lagere directe energie-

kosten, maar ook minder vervuiling, minder uitputting van binnenlandse energiebronnen, minder conflicten over de locatie van installaties en, voor veel landen, minder buitenlandse schulden en minder militaire kosten om toegang tot of controle over buitenlandse hulpbronnen te behouden.

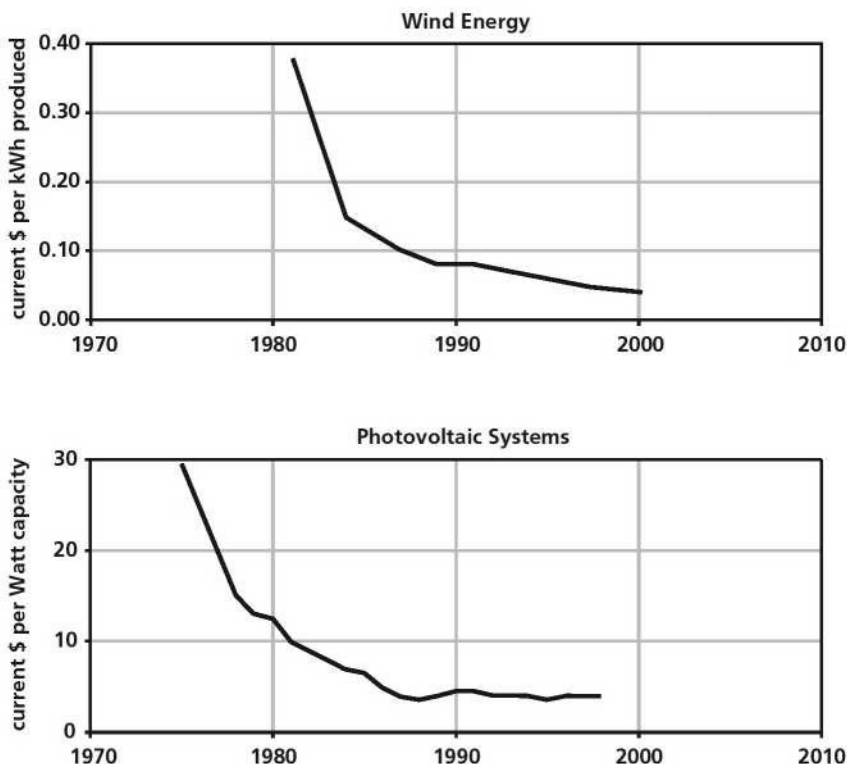
Efficiënte technologieën, van betere isolatie tot slimmere motoren, verbeteren zo snel dat de schattingen van de energie die nodig is om een bepaalde taak uit te voeren, elk jaar naar beneden moeten worden bijgesteld. Een compacte fluorescentielamp geeft evenveel licht als een gloeilamp, maar verbruikt slechts een kwart van de elektriciteit. Door alle gebouwen in de VS te voorzien van superisolerende ramen zou twee keer zoveel energie kunnen worden bespaard als het land nu uit de olie van Alaska haalt. Ten minste tien autobedrijven hebben prototypes gebouwd die 30 tot 60 kilometer op een liter benzine rijden (65 tot 130 mijl per gallon), en in technische discussies wordt nu gesproken over voertuigen die 70 km per liter (160 mpg) halen. In tegenstelling tot wat vaak wordt gedacht, voldoen deze efficiënte auto's aan alle veiligheidstests en zullen sommige niet meer kosten om te bouwen dan de huidige modellen.^{Q68}

Berekeningen van hoeveel energie door efficiëntie kan worden bespaard, zijn afhankelijk van de technische en politieke vooringenomenheid van degenen die de berekeningen maken. Aan de conservatieve kant van het spectrum lijkt het zeker dat de Amerikaanse economie alles wat ze nu doet, met de huidige technologieën en tegen de huidige of lagere kosten, met de helft minder energie zou kunnen doen. Dat zou de Verenigde Staten op het huidige efficiëntieniveau van

West-Europa brengen^{Q69} en het wereldwijde verbruik van olie met 14 procent, steenkool met 14 procent en gas met 15 procent verminderen. [122] Soortgelijke of grotere efficiëntieverbeteringen zijn mogelijk in Oost-Europa en de minder geïndustrialiseerde wereld.

Optimisten zeggen dat dit nog maar het begin is. Zij zijn van mening dat West-Europa en Japan, die nu al de meest energie-efficiënte delen van de wereld zijn, hun efficiëntie met een factor twee tot vier kunnen verhogen met technologieën die al beschikbaar zijn of binnen twintig jaar gemakkelijk te realiseren zijn. Een efficiëntie van die omvang zou het mogelijk maken om de meeste of alle energie in de wereld te leveren uit hernieuwbare bronnen op basis van zonne-energie, zoals zon, wind, waterkracht en biomassa. De zon straalt elke dag 10.000 keer meer energie op de aarde dan de mensheid momenteel verbruikt.^{Q70}

De technische vooruitgang op het gebied van het opvangen van zonne-energie verloopt langzamer dan die op het gebied van efficiëntieverbetering, maar is niettemin gestaag. De kosten van zonne-energie en windenergie zijn de afgelopen twintig jaar aanzienlijk gedaald (**figuur 3-15**). In 1970 werd fotovoltaïsche (PV) elektriciteit opgewekt tegen een kapitaalkost van 120 dollar per watt. In 2000 was die kost gedaald tot 3,50 dollar per watt.^{Q71} – 1925 € 1,25 / wattpiek (15- 22 %) G-1A – In minder geïndustrialiseerde landen is PV al de meest rendabele keuze voor dorpen en irrigatieprojecten die zich de kapitaalkosten voor aansluiting op een verafgelegen elektriciteitsnet niet kunnen veroorloven.



FIGUUR 3-15 Kosten van elektriciteit uit windmolens en fotovoltai-sche systemen

Tussen 1980 en 2000 zijn de kosten van elektriciteit uit windmolens en fotovoltai-sche systemen drastisch gedaald. Windenergie wordt nu concurrerend met nieuwe fossielgestookte elektriciteitscentrales. (Bron-nen: AWEA; EIA/DoE.)

Tegen de huidige kosten heeft windenergie het potentieel om zeer snel te groeien. Eind 2002 bedroeg de wereldwijd geïnstalleerde windenergiecapaciteit meer dan 31.000 MW, wat overeenkomt met meer dan 30 kernreactoren. – in 2025

2.000.000 MW G-IA – Dat betekende een capaciteitsgroei van 28 procent sinds eind 2001 en een verviervoudiging in de vijf jaar sinds eind 1997.^{Q72} Een verandering van deze omvang kan allerlei speculaties over de toekomst van energie aanwakkeren.

Ik geloof dat we de laatste dagen van de traditionele oliemaatschappij beleven... De economie van de wereld verandert wanneer je je auto parkeert en vervolgens de brandstofcel ervan gebruikt om elektriciteit voor je huis op te wekken. Het elektriciteitsnet van een heel land begint meer op het internet te lijken dan op een mainframe. Als alle auto's in de VS brandstofcellen zouden hebben, zou je zelfs vijf keer zoveel elektriciteit hebben als nu in het hele land is geïnstalleerd.^{Q73}

[123] Hernieuwbare energiebronnen zijn niet milieuvriendelijk en ze zijn niet onbeperkt. Windmolens hebben land en toegangswegen nodig. Sommige soorten zonnecellen bevatten giftige materialen. Waterkrachtcentrales zetten land onder water en vernietigen vrij stromende rivieren. Biomassa-energie is slechts zo duurzaam als de landbouw- of bosbouwpraktijken die de biomassa produceren. Sommige zonne-energiebronnen zijn verdund en onregelmatig en vereisen grote opvanggebieden en complexe opslagmechanismen,^{Q74} en ze vereisen allemaal fysiek kapitaal en zorgvuldig beheer. Hernieuwbare energiebronnen zijn ook snelheidsgebonden; ze kunnen voor altijd stromen, maar alleen met een vaste snelheid. Ze kunnen geen oneindig grote bevolking en een snel groeiende kapitaalplant ondersteunen. Maar ze kunnen wel de energiebasis vormen voor de duurzame samenleving

van de toekomst. Ze zijn overvloedig aanwezig, wijdverspreid en gevarieerd. De vervuiling die ze veroorzaken is lager en over het algemeen minder schadelijk dan die van fossiele of nucleaire energie.

[124] Als de meest duurzame en minst vervuilende bronnen zouden worden ontwikkeld en met een hoog rendement worden gebruikt, zouden ze in de energiebehoefte van de mensheid kunnen voorzien zonder de grenzen te overschrijden. Daarvoor is alleen politieke wil, enige technologische vooruitgang en een bescheiden maatschappelijke verandering nodig.

Aangezien de (nog niet ontdekte) gasreserves relatief groot lijken, lijkt het aan het begin van de nieuwe eeuw dat de grootste beperkingen voor het energieverbruik aan de afnemekant liggen. De kwestie van klimaatverandering als gevolg van de uitstoot van kooldioxide door energieverbruik wordt later in dit hoofdstuk besproken.

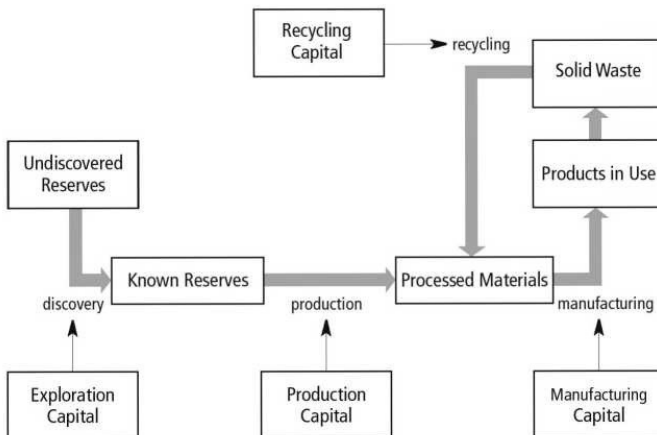
Materialen

Voor de winning of oogst van primaire natuurlijke hulpbronnen is vaak het verplaatsen of verwerken van grote hoeveelheden materialen nodig die het milieu kunnen veranderen of beschadigen, ook al hebben ze geen economische waarde. Om toegang te krijgen tot metaalafzettingen, ertsen of steenkoollagen is bijvoorbeeld het verplaatsen van enorme hoeveelheden bedekkende materialen of deklaag nodig. Vaak moeten ruwe ertsen worden verwerkt of geconcentreerd voordat ze commerciële grondstoffen worden, waardoor

grote hoeveelheden procesafval moeten worden afgevoerd.... Al deze stromen maken deel uit van de economische activiteit van een land, maar de meeste komen nooit in de monetaire economie terecht.... In economische rekeningen worden ze meestal niet meegeteld. De daaruit voortvloeiende statistieken onderschatten de afhankelijkheid van een industriële economie van natuurlijke hulpbronnen.

-WORLD RESOURCES INSTITUTE, 1997

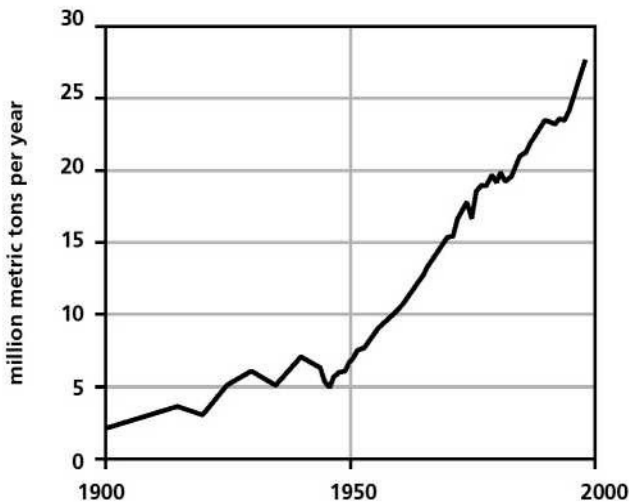
Slechts 8 procent van de wereldbevolking bezit een auto. Honderden miljoenen mensen leven in ontoereikende huizen of hebben helemaal geen onderdak, laat staan een koelkast of televisie. Als er meer mensen op de wereld komen en als zij betere huisvesting, gezondheidszorg, onderwijs, auto's, koelkasten en televisies willen, hebben zij staal, beton, koper, aluminium, plastic en vele andere materialen nodig.



Onbekende reserves tot recycling

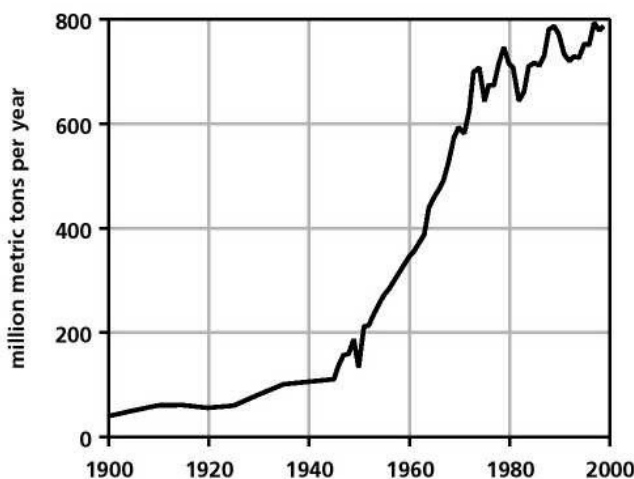
De stroom van materialen vanuit de aarde via de economie terug naar de aarde kan op dezelfde manier worden weergegeven als de stroom van fossiele brandstoffen, met één uitzondering. [125] tegenstelling tot fossiele brandstoffen worden materialen zoals metalen en glas na gebruik niet omgezet in verbrandingsgassen. Ze hopen zich ergens op als vast afval, worden teruggewonnen en gerecycled, of worden afgebroken, verpulverd, uitgeloozd, verdampt of op een andere manier verspreid in de bodem, het water of de lucht.

Figuur 3-16 toont de geschiedenis van het wereldwijde verbruik van vijf belangrijke metalen tussen 1900 en 2000. Uit de verbruiksgegevens blijkt dat het gebruik tussen 1950 en 2000 meer dan verviervoudigd is.



FIGUUR 3-16 Wereldwijd verbruik van vijf belangrijke metalen
Het verbruik van koper, lood, zink, tin en nikkel is in de twintigste eeuw dramatisch gestegen. (Bron: Klein Goldewijk en Battjes; U.S. Bureau of Mines; USGS; U.S. CRB.)

Er is een grens aan de hoeveelheden koper, nikkel, tin en aanverwante metalen die zelfs rijke mensen per jaar kunnen gebruiken. Die grens ligt echter hoog, althans als we de Amerikaanse levensstijl als maatstaf nemen. Voor de meeste metalen is het gemiddelde verbruik per persoon in de geïndustrialiseerde wereld 8 tot 10 keer zo hoog als in de niet-geïndustrialiseerde wereld. Als uiteindelijk 9 miljard mensen allemaal evenveel zouden verbruiken als de gemiddelde Amerikaan aan het einde van de twintigste eeuw, zou de wereldwijde productie van staal met een factor vijf moeten toenemen, die van koper met een factor acht en die van aluminium met een factor negen.



FIGUUR 3-17 Wereldwijde consumptie van staal

De consumptie van staal vertoont een S-vormige groei. (Bron: Klein Goldewijk en Battjes; U.S. Bureau of Mines; USGS; U.S. CRB.)

De meeste mensen hebben intuïtief het gevoel dat een dergelijke materiaalstroom niet mogelijk en ook niet nodig is. Het is niet mogelijk vanwege de beperkte bronnen en opslagplaatsen op aarde. Tijdens het hele traject van bron tot opslagplaats laat de verwerking, fabricage, behandeling en het gebruik van materialen een spoor van vervuiling achter. Het is niet nodig omdat de materiaaldoorvoer per persoon in de rijke landen van de late twintigste eeuw, net als hun voedsel-, water-, hout- en energiedoorvoer, verspillend is. Een goed leven zou mogelijk zijn met veel minder vernietiging van de planeet.

Er zijn tekenen dat de wereld hiervan lering trekt. **Figuur 3-17** toont de recente wereldwijde productie van staal. Halverwege de jaren zeventig gebeurde er iets dat een einde maakte aan de gestage exponentiële groei. Er zijn verschillende theorieën om deze daling van de groei te verklaren. Ze lijken allemaal gedeeltelijk juist.

- De opkomende trend naar “dematerialisatie” werd aangedreven door economische prikkels en de technologische mogelijkheid om meer te doen met minder.
- De olieprijschokken in 1973 en opnieuw in 1979 zorgden voor een sterke stijging van de prijzen van energie-intensieve metalen, waardoor de prikkels om energie en materialen te besparen in alle toepassingen werden versterkt.
- Dezelfde hogere prijzen, in combinatie met milieuwetgeving en problemen met de verwijdering van vast afval, stimuleerden de recycling van materialen.
- Al deze druk versnelde een technische revolutie. Kunst-

stoffen, keramiek en andere materialen werden in de plaats van metalen gebruikt. Producten van metaal, zoals auto's, blikjes voor frisdrank en vele andere, werden lichter gemaakt.

- Binnen de stagnerende economie van de jaren tachtig waren de zware industriële sectoren het meest in crisis, waardoor de vraag naar basismetalen onevenredig sterk daalde.^{Q75}

Hoewel de economische redenen voor de tragere groei van het materiaalverbruik van tijdelijke aard kunnen zijn, zullen de technische veranderingen waarschijnlijk blijvend zijn, evenals de milieudruk om de materiaalstromen te verminderen. Interessant is dat de prijzen voor materialen de afgelopen decennia zijn blijven dalen, wat erop wijst dat het aanbod de vraag heeft overtroffen.^{Q76}

Arme gemeenschappen hebben altijd materialen teruggewonnen en hergebruikt vanwege de schaarste ervan. Rijke gemeenschappen leren opnieuw recyclen vanwege de schaarste aan afzetmarkten. **[128]** Daarbij verandert recycling van een arbeidsintensieve naar een kapitaal- en energie-intensieve activiteit, waarbij gebruik wordt gemaakt van gemechaniseerde compostkeerders, versnipperaars en zeefsystemen, vergisters, slibmixers, statiegeldautomaten (voor het teruggeven van statiegeld op flessen) en beheermaatschappijen die afvalterugwinningsprogramma's opzetten voor industrieën of gemeenten.

Vooruitstrevende fabrikanten ontwerpen producten, van theepotten tot auto's, met het oog op uiteindelijke demontage en recycling. Een nieuwe BMW-auto heeft bijvoorbeeld

een kunststof carrosserie die is ontworpen voor eenvoudige recycling. Kunststoffen worden steeds vaker gemarkeerd met het type hars en er worden minder soorten gemengd, zodat ze kunnen worden gescheiden en hergebruikt.

Kleine veranderingen die vele malen worden herhaald, kunnen een groot verschil maken. De uitvinding in 1976 van het lipje op aluminium frisdrankblikjes betekende dat het lipje aan het blikje bleef zitten en dus opnieuw kon worden gerecycled in plaats van te worden weggegooid. Rond de eeuwwisseling gebruikten Amerikanen ongeveer 105 miljard (10^9) aluminium blikjes per jaar, waarvan ongeveer 55 procent werd gerecycled. Dat betekent dat de recycling van die kleine lipjes elk jaar 16.000 ton aluminium en ongeveer 200 miljoen kilowattuur elektriciteit bespaart.

Het scheiden en recyclen van materialen na gebruik is een stap in de richting van duurzaamheid. Het zorgt ervoor dat materialen door de menselijke economie worden geleid op dezelfde manier als in de natuur: in gesloten cycli. In de natuur wordt het afval van het ene proces de input voor een ander proces. Hele sectoren van ecosystemen, met name in de bodem, werken eraan om de afvalstoffen van de natuur af te breken, in bruikbare delen te scheiden en weer terug te voeren naar levende wezens. De moderne menselijke economie ontwikkelt eindelijk ook een recyclingsector.^{Q78}

Maar het recyclen van afval is slechts het laatste en minst problematische deel van de materiaalstroom. Als vuistregel geldt dat elke ton afval aan het einde van de stroom ook de productie van 5 ton afval in de productiefase en 20 ton afval op de plaats van de oorspronkelijke grondstofwinning

(mijnbouw, pompen, houtkap, landbouw) heeft vereist.^{Q79} De beste manieren om deze afvalstromen te verminderen zijn het verlengen van de levensduur van producten en het verminderen van de materiaalstromen aan de bron.

Het verlengen van de levensduur van producten door beter ontwerp, reparatie en hergebruik (bijvoorbeeld door bekers af te wassen in plaats van wegwerpbekers te gebruiken) is effectiever dan recycling, omdat er dan geen recyclingmaterialen hoeven te worden vermalen, gesmolten, gezuiverd en opnieuw verwerkt. [129] Door de gemiddelde levensduur van een product te verdubbelen, worden het energieverbruik, de afvalproductie en de vervuiling gehalveerd, evenals de uiteindelijke uitputting van alle materialen die voor de productie ervan zijn gebruikt. Maar om definitieve conclusies te kunnen trekken over wat de ecologische voetafdruk minimaliseert, is een grondige levenscyclusanalyse nodig, die vaak verrassende resultaten oplevert.

Bronreductie betekent een manier vinden om hetzelfde werk met minder materiaal te doen. Het is het equivalent van energie-efficiëntie en de mogelijkheden zijn enorm. In 1970 woog een gemiddelde Amerikaanse auto meer dan drie ton, bijna allemaal metaal. Tegenwoordig is de gemiddelde auto veel lichter en bestaat een groot deel ervan uit plastic. Computerchips worden niet meer op zware ferromagnetische kernen gedragen, maar op minuscule siliciumchips. Een kleine flashdrive die in uw zak past, kan evenveel informatie bevatten als 200.000 boekpagina's. Een haarfijne draad van ultrazuiver glas kan evenveel telefoongesprekken voeren als honderden koperdraden, en dat met een betere ge-

luidskwaliteit.

In plaats van de hoge temperaturen, hoge druk, agressieve chemicaliën en brute kracht die sinds het begin van de industriële revolutie kenmerkend waren voor productieprocessen, beginnen wetenschappers te begrijpen hoe ze de intelligentie van moleculaire machines en genetische programmering kunnen gebruiken. Door doorbraken in de nanotechnologie en biotechnologie kan de industrie chemische reacties uitvoeren zoals de natuur dat doet, door moleculen zorgvuldig op elkaar af te stemmen.

De mogelijkheden voor recycling, grotere efficiëntie, langere levensduur van producten en bronreductie in de wereld van materialen zijn opwindend. Op wereldschaal hebben ze echter nog niet geleid tot een vermindering van de enorme materiaalstroom door de economie. In het beste geval hebben ze de groei ervan vertraagd. En miljarden mensen willen nog steeds auto's en koelkasten. Hoewel de meeste mensen zich momenteel meer bewust zijn van de grenzen van de afvoer dan van de grenzen van de bronnen voor materiaaldoorvoer, zal de voortdurende groei van de vraag naar materialen uiteindelijk ook tegen de grenzen van de bronnen aanlopen. Veel van de materialen die het meest bruikbaar zijn voor de menselijke samenleving komen slechts zelden in geconcentreerde vorm voor in de aardkorst. De exploitatie ervan brengt steeds hogere kosten met zich mee, gemeten in energie, kapitaal, milieueffecten en sociale ontwrichting.

Geoloog Earl Cook illustreerde hoe ongewoon geconcentreerd en hoe zeldzaam de meeste winbare ertsen zijn.^{Q80} De technologie is sterk verbeterd sinds Cook zijn analyse bijna

drie decennia geleden voltooide. Maar de algemene implicaties van zijn studie blijven geldig. Sommige mineralen, zoals ijzer en aluminium, zijn enorm overvloedig aanwezig. Ze worden niet beperkt door bronnen en kunnen in veel gebieden worden gewonnen. [130] Andere, zoals lood, tin, zilver en zink, zijn veel beperkter. Voor deze mineralen is uitputting een veel dichterbij liggend vooruitzicht.

Een indruk van de relatieve schaarste wordt gegeven door gegevens over hulpbronnen en reserves in een recent onderzoek naar de wereldwijde mijnbouw door het International Institute for Environment and Development (IIED). **Tabel 3-2** geeft een overzicht van de gegevens over acht belangrijke metalen. Bij een jaarlijkse groei van 2 procent (wat voor sommige materialen hoog is en voor andere laag, maar geen slecht gemiddelde) zouden de huidige reserves de productie gedurende een periode van 15 tot 80 jaar kunnen ondersteunen. Natuurlijk zal de technologie verbeteren en zullen de prijzen stijgen, terwijl producenten nieuwe gebieden verkennen en nieuwe winbare materialen ontdekken. Deze schattingen van de levensduur van de reserves zijn dus laag. Hoe laag? Schattingen van de abundantie in de aardkorst suggereren een productieve levensduur van 500 tot 1000 jaar. De werkelijke beschikbaarheid ligt ergens tussenin. De hoeveelheid hulpbronnen die naar reserves kan worden overgeheveld, hangt af van de energie- en kapitaalkosten, aangezien producenten te maken hebben met de sociale en milieukosten van hun activiteiten.

TABEL 3-2 Levensverwachting van geïdentificeerde reserves voor acht metalen

	Annual production 1997-99 average	Annual growth in production 1975-99 average	1999 Identified reserves	Life expectancy of identified reserves at annual growth in production of 2% per year	Resource base	Life expectancy of resource base at annual growth in production of 2% per year
	(million (10 ⁶) metric tons per year)	(percent per year)	(billion (10 ⁹) metric tons)	(years)	(trillion (10 ¹²) metric tons)	(years)
Metal						
Aluminum	124	2.9	25	81	2,000,000	1,070
Copper	12	3.4	0.34	22	1,500	740
Iron	560	0.5	74,000	65	1,400,000	890
Lead	3.1	-0.5	0.064	17	290	610
Nickel	1.1	1.6	0.046	30	2.1	530
Silver	0.016	3.0	0.00028	15	1.8	730
Tin	0.21	-0.5	0.008	28	40.8	760
Zinc	0.8	1.9	0.19	20	2,200	780

Deze tabel illustreert de enorme kloof tussen de geïdentificeerde reserves en de grondstoffenvoorraad. Geïdentificeerde reserves zijn momenteel bekend en zullen naar verwachting worden gewonnen met de beschikbare technologie en tegen de huidige prijzen. De grondstoffenvoorraad is de totale hoeveelheid die naar schatting in de aardkorst aanwezig is. De mensheid zal nooit de volledige grondstoffenvoorraad kunnen exploiteren, maar veranderingen in prijs, technologie en nieuwe ontdekkingen zullen de geïdentificeerde reserves zeker doen toenemen. (Bron: MMSD.)

[131] De IIED-studie wees op de potentiële rol die sinks kunnen gaan spelen bij het beperken van ons gebruik van mineralen.

Hoewel de trends in de productie en het gebruik van mi-

neralen en in de geschatte hulpbronnenbasis de bezorgdheid dat de wereld “zonder mineralen komt te zitten” hebben verminderd, krijgt de potentiële beperking van de beschikbaarheid van mineralen door milieu- en sociale factoren steeds meer aandacht. Ontwikkelingen die de beschikbaarheid van mineralen kunnen beperken, zijn onder meer:

- de beschikbaarheid van energie of de milieueffecten van energiegebruik naarmate de energie per eenheid output toeneemt bij lagere ertsgehaltenes;
- de beschikbaarheid van water voor de productie van mineralen of de milieueffecten van het gebruik van steeds grotere hoeveelheden water bij lagere ertsgehaltenes;
- de voorkeur van de samenleving om land te gebruiken voor andere doeleinden dan de productie van mineralen, bijvoorbeeld voor de bescherming van de biologische diversiteit en ongerepte natuur, culturele betekenis of landbouw en voedselzekerheid;
- onacceptatie door de gemeenschap van de effecten van de mineralenindustrie;
- veranderende gebruikspatronen; en
- beperkingen van ecosystemen op de ophoping van minerale producten of bijproducten (met name metalen) in de lucht, het water, de bovengrond of de vegetatie.⁸¹

Figuur 3-18 laat zien hoe het proces van uitputting van delfstoffen verloopt, zoals in het geval van de geleidelijk afnemende ertsconcentratie van koper. **Figuur 3-19** toont het

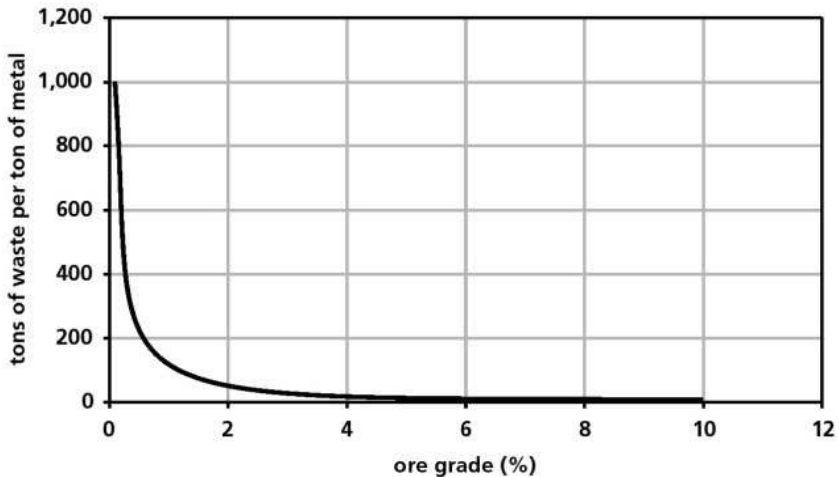
gevolg van een afnemende ertsconcentratie. Naarmate de hoeveelheid bruikbaar metaal in het erts afneemt, stijgt de hoeveelheid gesteente die per ton product moet worden gewonnen, vernalen en behandeld met verbazingwekkende snelheid. Toen het gemiddelde gehalte van het in Butte, Montana, gewonnen kopererts daalde van 30 procent naar 0,5 procent, steeg de hoeveelheid afval per ton koper van 3 ton naar 200 ton. Deze stijgende curve van afval loopt parallel met een stijgende curve van de energie die nodig is om elke ton eindproduct te produceren.



FIGUUR 3-18 De afnemende kwaliteit van kopererts gewonnen in de Verenigde Staten

Vóór 1910 werd in de Verenigde Staten erts gewonnen met een gemiddeld kopergehalte tussen 2 en 2,5 procent. Sindsdien is het gemiddelde gehalte gestaag gedaald. De piek in de jaren 1930 en de lichte stijging in de jaren 1980 werden veroorzaakt door economische recessies, waardoor marginale mijnen werden gesloten en alleen de mijnen met de rijkste erts in bedrijf bleven. (Bronnen: U.S. Bureau of Mines; USGS.)

De uitputting van metaalertsen versnelt de uitputting van fossiele brandstoffen en legt een grotere druk op de opslagplaatsen van de planeet.



FIGUUR 3-19 Uitputting van minerale ertsen leidt tot een sterke toename van het afval dat bij de productie ervan ontstaat

Naarmate de gemiddelde ertsgehalte door uitputting daalt van 8 procent of meer tot 3 procent, neemt de hoeveelheid mijnbouwafval per ton eindproduct nauwelijks waarneembaar toe. Onder de 3 procent neemt het afval per ton echter dramatisch toe. Uiteindelijk zullen de kosten voor de verwerking van het afval hoger zijn dan de waarde van het geproduceerde metaal.

Opvangplaatsen voor vervuiling en afval

In de afgelopen decennia is de mens opgekomen als een nieuwe natuurkracht. We veranderen fysische, chemische en biologische systemen op nieuwe manieren, in een sneller tempo en op grotere schaal dan ooit tevoren op aarde is waargenomen. De mens is onbewust begonnen aan een grootschalig experiment met

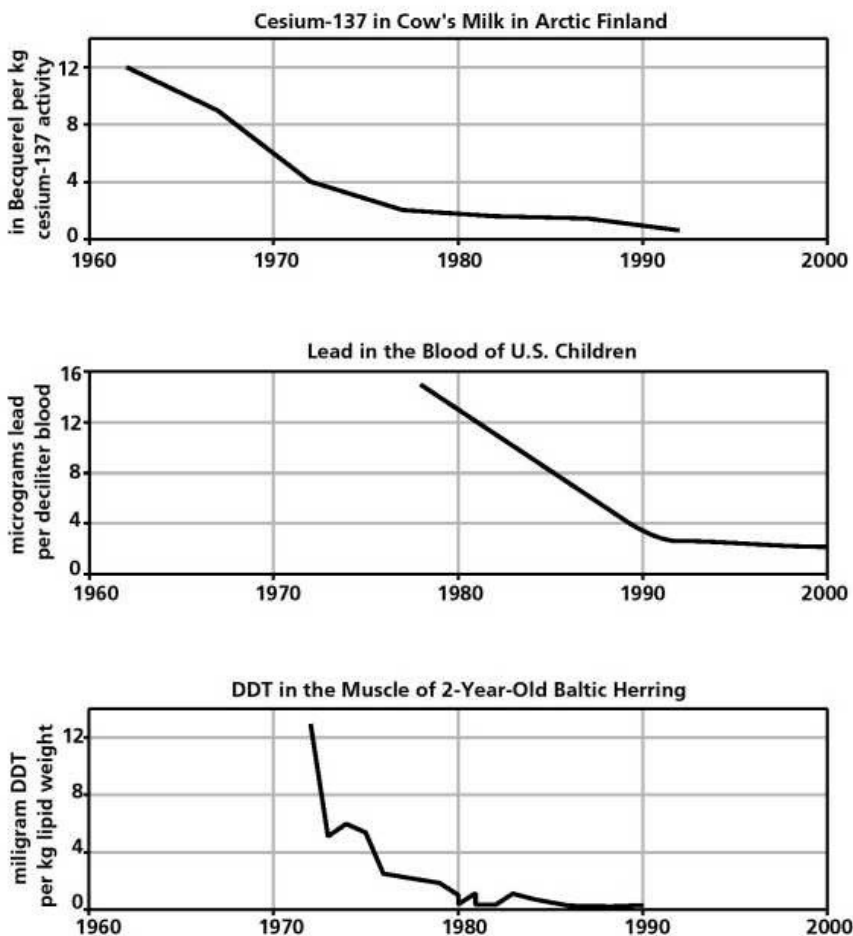
onze planeet. De uitkomst van dit experiment is onbekend, maar heeft ingrijpende gevolgen voor al het leven op aarde.

-JANE LUBCHENCO, 1998

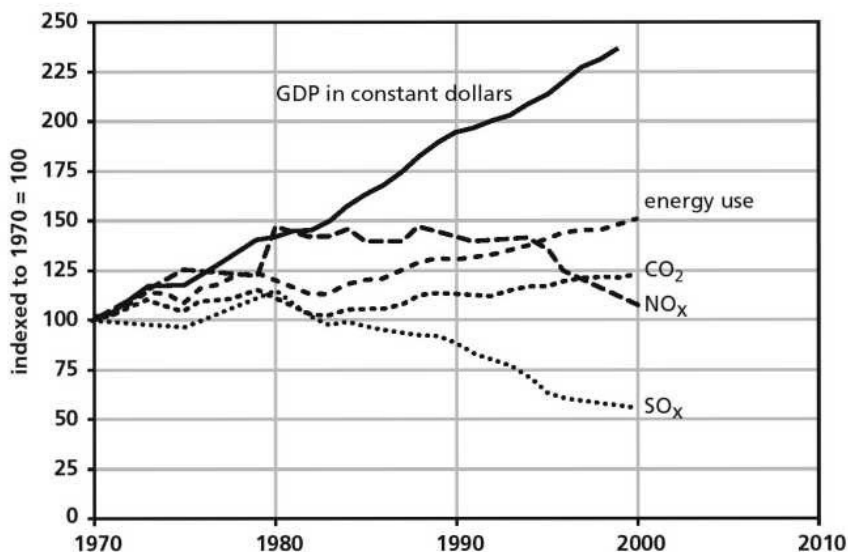
[133] Ten tijde van de Milieuconferentie van Stockholm in 1972 waren er niet meer dan tien landen met een ministerie of agentschap voor milieuzaken. Nu zijn er maar weinig landen zonder milieubestuur. Er is een overvloed aan milieueducatieve programma's ontstaan, samen met talrijke belangengroepen die zich inzetten voor verschillende milieudoelen. De resultaten van deze relatief nieuwe instellingen voor milieubescherming zijn gemengd. Het is onjuist te concluderen dat de wereld haar vervuilingsproblemen heeft opgelost – of dat er helemaal geen vooruitgang is geboekt.

De grootste successen zijn behaald met specifieke giftige stoffen die ondubbelzinnig schadelijk zijn voor de menselijke gezondheid en die kunnen worden geïdentificeerd en eenvoudigweg verboden. **Figuur 3-20** laat bijvoorbeeld zien dat het verbod op het gebruik van lood in benzine in de VS heeft geleid tot een daling van de loodconcentraties in het bloed van mensen. Ook de concentraties van andere verontreinigende stoffen op bepaalde plaatsen, zoals cesium-137 in Finland en DDT in de Baltische landen, zijn de afgelopen decennia gedaald.

In de geïndustrialiseerde landen is na vastberaden inspanningen en aanzienlijke kosten gedeeltelijk succes geboekt bij het terugdringen van enkele, maar niet alle, van de meest voorkomende lucht- en waterverontreinigende stoffen.



FIGUUR 3-20 Afnemende verontreiniging van mens en milieu
De concentraties van sommige verontreinigende stoffen zijn de afgelopen decennia op bepaalde plaatsen gedaald. De meest spectaculaire verbeteringen zijn het gevolg van een algeheel verbod op giftige stoffen zoals lood in benzine en het pesticide DDT, en de stopzetting van kernproeven in de atmosfeer. (Bronnen: Zweeds Milieu-onderzoeksinstituut; AMAP; EPA.)



FIGUUR 3-21 Trends in de uitstoot van geselecteerde luchtverontreinigende stoffen

Geïndustrialiseerde landen hebben aanzienlijke inspanningen geleverd om energie-efficiëntie en emissiebeperkingen te realiseren. Hoewel hun economieën (gemeten naar het bbp) sinds 1970 zijn verdubbeld, zijn hun CO₂- en NO_x-emissies vrijwel constant gebleven (voornamelijk dankzij energie-efficiëntie) en zijn hun emissies van zwaveloxiden (SO_x) met 40 procent gedaald (dankzij zowel energie-efficiëntie als actieve reinigingstechnologieën). (Bronnen: Wereldbank; OESO; WRI.)

Figuur 3-21 laat zien dat in de G7-landen^{Q82} de uitstoot van zwaveldioxide met bijna 40 procent is teruggedrongen door rookgaswassers op fabrieksschoorstenen en de overschakeling op zwavelarme brandstoffen. De verontreinigende stoffen kooldioxide en stikstofoxide zijn chemisch moeilijk te verwijderen; ondanks de economische groei zijn de concen-

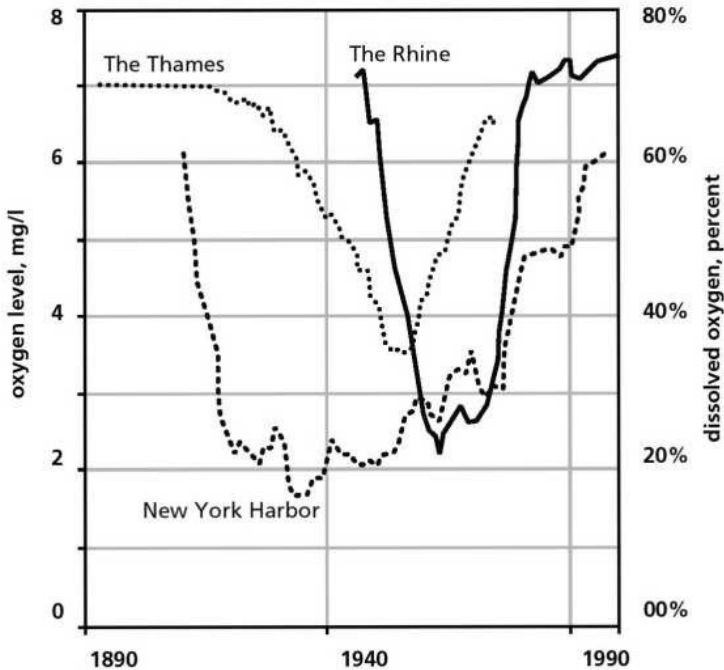
traties ervan de afgelopen twintig jaar vrijwel constant gebleven, voornamelijk dankzij verbeteringen in de energie-efficiëntie.

[136] De geschiedenis van verontreinigende stoffen in de Rijn illustreert uitstekend de successen en teleurstellingen van de bestrijding van waterverontreiniging. Na de Tweede Wereldoorlog ontnam de toenemende verontreiniging de Rijn geleidelijk aan zijn levensreddende zuurstof. Rond 1970 bereikte het zuurstofgehalte een minimum waarbij geen leven meer mogelijk was, maar in 1980 was het aanzienlijk verbeterd, voornamelijk dankzij enorme investeringen in rioolwaterzuiveringssystemen. Giftige zware metalen zoals kwik en cadmium werden echter niet door de rioolwaterzuiveringsinstallaties verwijderd en hun concentratie begon pas te dalen toen de landen langs de Rijn steeds strengere regels tegen vervuiling overeenkwamen. Als gevolg daarvan waren zware metalen in 2000 grotendeels uit het water verwijderd. Ze dringen echter nog steeds door in de bodemsedimenten en omdat ze niet chemisch worden afgebroken, blijven ze in hoge concentraties aanwezig, met name in de Rijndelta. Ook het chloridegehalte is hoog gebleven. De stroomafwaarts gelegen landen hebben nog geen manier gevonden om effectieve druk uit te oefenen op de belangrijkste bron van chloride: de zoutmijnen in de Elzas, hoewel deze uiteindelijk wellicht zullen worden gesloten. Ook de stikstofverontreiniging door bemesting van landbouwgrond blijft hoog. Omdat de bronnen te verspreid zijn om in een rioolstelsel te worden opgevangen, kan deze verontreiniging alleen worden verminderd door een verandering van de

landbouwpraktijken in het hele stroomgebied van de Rijn. Toch was het in 1996 een reden voor feest toen de eerste zalm na 60 jaar weer terugkeerde in de bovenloop van de Rijn bij Baden-Baden.^{Q83}

Ook andere geïndustrialiseerde landen hebben aanzienlijke investeringen gedaan om de waterkwaliteit in grote rivieren en waterwegen te verbeteren. Door tientallen miljarden dollars te investeren in afvalverwerkingsinstallaties zijn voormalige beerputten opgewaardeerd tot wateren waar zalm kan leven. Het bekendste voorbeeld is waarschijnlijk de Theems. Maar zelfs het water in de haven van New York is sinds 1970 schoner geworden (**figuur 3-22**).^{Q84} Schonere wateren betekenen in feite dat de uitstoot per eenheid activiteit sneller is gedaald dan de vrij aanzienlijke groei van de menselijke activiteit. De ecologische voetafdruk op de waterwegen is kleiner geworden. Hetzelfde geldt voor de luchtkwaliteit in veel geïndustrialiseerde landen. Door een combinatie van strenge regelgeving, investeringen in filtering en de overschakeling op schonere productietechnologieën is de luchtvervuiling (bijvoorbeeld door deeltjes, zwaveldioxide, koolmonoxide en lood) in het Verenigd Koninkrijk en de Verenigde Staten de afgelopen decennia drastisch gedaald. Zelfs moeilijker te bestrijden verontreinigende stoffen, zoals NO₂ en ozon in de lagere atmosfeer, zijn verminderd.^{Q85} En nogmaals, dit gebeurde ondanks een vrij aanzienlijke groei van activiteiten zoals energieopwekking, verwarming en vervoer van personen en goederen. Er is zelfs vooruitgang geboekt bij het verwijderen van moderne giftige stoffen, waaronder PCB's, DDT en andere pesticiden.^{Q86}

Maar hier is het succes meer lokaal en is het totaalbeeld gemengd, omdat veel van deze persistente, bioaccumulerende stoffen over de hele wereld worden getransporteerd en zich ophopen in het lichaamsvet van bevolkingsgroepen in verre oorden.



FIGUUR 3-22 Zuurstofgehalte in vervuilde wateren

Organische vervuiling kan het gehalte aan levensnoodzakelijke zuurstof in rivieren verminderen. Sinds de jaren zestig en zeventig hebben grote investeringen in rioolwaterzuiveringssystemen ervoor gezorgd dat het zuurstofgehalte in de Rijn, de Theems en de haven van New York is verbeterd. (Bron: A. Goudie; P. Kristensen en H. Ole Hansen; OCED; DEP.)

Dat is de balans in rijke landen die geld kunnen besteden

aan het terugdringen van vervuiling. De ergste lucht- en waterverontreiniging ter wereld is nu te vinden in Oost-Europa en de opkomende economieën, waar miljardeninvesteringen in bestrijding van vervuiling simpelweg ondenkbaar zijn. Dit feit werd in 2001 onder de aandacht van de wereld gebracht toen een smoglaag wekenlang de lucht boven Zuidoost-Azië verduisterde.

[137] En dat is het plaatje voor de meest voor de hand liggende verontreinigende stoffen – die welke mensen rechtstreeks ervaren en die dus politieke aandacht trekken. De zichtbare water- en luchtverontreinigende stoffen worden ook steeds vaker aangepakt – met redelijk succes – in het kader van de huidige focus op meer eco-efficiëntie bij de milieuvriendelijke bedrijven in de wereld. Deze focus moet echter permanent worden om de voortdurende toename van de menselijke activiteit te compenseren.

De meest hardnekkige verontreinigende stoffen zijn, althans tot nu toe, nucleair afval, gevaarlijk afval en afval dat een bedreiging vormt voor mondiale biogeochemische processen, zoals broeikasgassen. Deze zijn chemisch het moeilijkst op te slaan of te ontgiften, fysiologisch het moeilijkst waarneembaar voor onze zintuigen en economisch en politiek het moeilijkst te reguleren.

Geen enkel land heeft het probleem van nucleair afval opgelost. In de natuur is dergelijk afval gevaarlijk voor alle levensvormen, zowel door zijn directe toxiciteit als door zijn mutageniteit. – kan DNA veranderen – In verkeerde handen kan het een instrument van terreur worden. De natuur kan het op geen enkele manier onschadelijk maken. **[138]** Het valt uit-

een volgens een eigen intern tijdschema, dat tientallen jaren, eeuwen of zelfs millennia kan duren. Als bijproducten van de kernenergieproductie hoopt het zich gestaag op, opgeslagen onder de grond of in waterbassins in de insluitingsvaten van kernreactoren, in de hoop dat de technische en institutionele creativiteit van de mensheid ooit een plek zal vinden om het op te slaan. Als gevolg daarvan bestaat er een wijdverbreide, gezonde scepsis over het grootschalige gebruik van kernenergie.

Een andere belangrijke categorie probleemafval is door de mens synthetisch vervaardigde chemicaliën. Deze stoffen hebben nog nooit op aarde bestaan en daarom zijn er in de natuur geen organismen geëvolueerd die ze kunnen afbreken en onschadelijk maken. Er zijn momenteel meer dan 65.000 industriële chemicaliën in regulier commercieel gebruik. Van slechts enkele daarvan zijn toxicologische gegevens beschikbaar. Elke dag komen er nieuwe chemische stoffen op de markt, waarvan er vele niet grondig op toxiciteit zijn getest.^{Q87} Elke dag wordt er wereldwijd duizenden tonnen gevaarlijk afval geproduceerd, waarvan een groot deel in de geïndustrialiseerde landen. Langzaam maar zeker groeit het besef van het probleem; veel van deze landen zijn begonnen met het saneren van bodems en grondwater die door decennia van onverantwoordelijk lozen van chemicaliën zijn vergiftigd.

Dan zijn er nog de verontreinigende stoffen die de aarde als geheel vervuilen. Deze mondiale verontreinigende stoffen hebben, ongeacht wie ze produceert, gevolgen voor iedereen. Een dramatisch voorbeeld hiervan is het effect van de

industriële chemicaliën chloorfluorkoolwaterstoffen op de ozonlaag in de stratosfeer. Het verhaal van de ozonlaag is fascinerend, omdat het de eerste ondubbelzinnige confrontatie van de mensheid met een mondiale grens illustreert. Wij vinden dit zo belangrijk en hoopgevend dat we het in [hoofdstuk 5](#) uitgebreid behandelen.

De meeste wetenschappers, en inmiddels ook veel economen, zijn van mening dat de volgende mondiale grens waar de mensheid mee te maken krijgt, het broeikaseffect of de mondiale klimaatverandering is.

Het klimaatsysteem van de aarde is wereldwijd en regionaal veranderd, en sommige van deze veranderingen zijn toe te schrijven aan menselijke activiteiten.

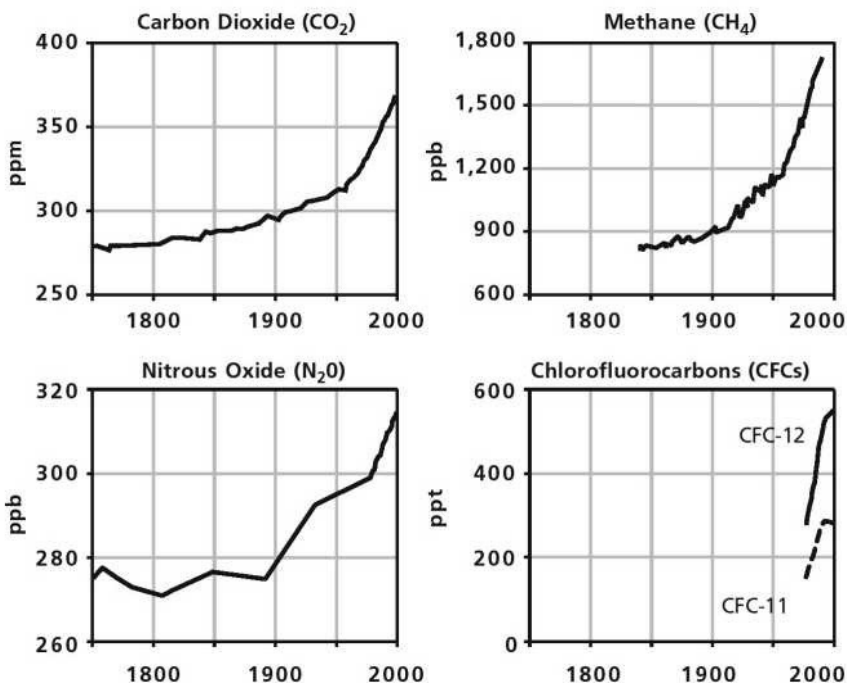
- De aarde is sinds 1860 met $0,6 \pm 0,2$ graden Celsius opgewarmd, waarbij de laatste twee decennia de warmste van de afgelopen eeuw waren; [139]
- De stijging van de oppervlaktetemperaturen in de twintigste eeuw voor het noordelijk halfrond zal waarschijnlijk groter zijn dan in enig ander decennium van de afgelopen 1000 jaar;
- De neerslagpatronen zijn veranderd, met een toename van zware neerslag in sommige regio's;
- De zeespiegel is sinds 1900 met 10-20 cm gestegen; de meeste niet-polaire gletsjers trekken zich terug; en de omvang en dikte van het zee-ijs in het Noordpoolgebied neemt in de zomer af;
- Menselijke activiteiten verhogen de concentraties in de atmosfeer van broeikasgassen die de atmosfeer opwarmen

en, in sommige regio's, van sulfaataerosolen die de atmosfeer afkoelen; en

- Het grootste deel van de waargenomen opwarming van de afgelopen 50 jaar is toe te schrijven aan menselijke activiteiten.⁸⁸

Wetenschappers meten al tientallen jaren de ophoping van kooldioxide in de atmosfeer als gevolg van de verbranding van fossiele brandstoffen. We hebben een samenvatting van de CO₂-gegevens al in ons eerste boek gepubliceerd.^{Q89} Het is al meer dan 100 jaar bekend dat kooldioxide warmte vasthoudt en de temperatuur van de aarde verhoogt, zoals een broeikas die de energie van de zon binnenlaat maar niet naar buiten laat. En in de afgelopen 30 jaar is het steeds duidelijker geworden dat ook andere broeikasgassen die door menselijke activiteiten worden uitgestoten, zich exponentieel ophopen in de atmosfeer: methaan, stikstofdioxide en dezelfde chloorfluorkoolwaterstoffen die de ozonlaag bedreigen (**figuur 3-23**).

Wereldwijde klimaatverandering is niet gemakkelijk snel waar te nemen, omdat het weer van dag tot dag en van jaar tot jaar van nature varieert. Het klimaat is het langetermijngemiddelde van het weer en kan daarom alleen op lange termijn worden gemeten. Bewijzen voor de opwarming van de aarde waren echter al tien jaar geleden zichtbaar en zijn sindsdien in een alarmerend tempo toegenomen. Het wordt steeds gebruikelijker om te lezen dat het afgelopen jaar het warmste jaar ooit was, wat niet verwonderlijk is gezien de stijging van de gemiddelde mondiale temperatuur, zoals weergegeven in **figuur 3-24**.

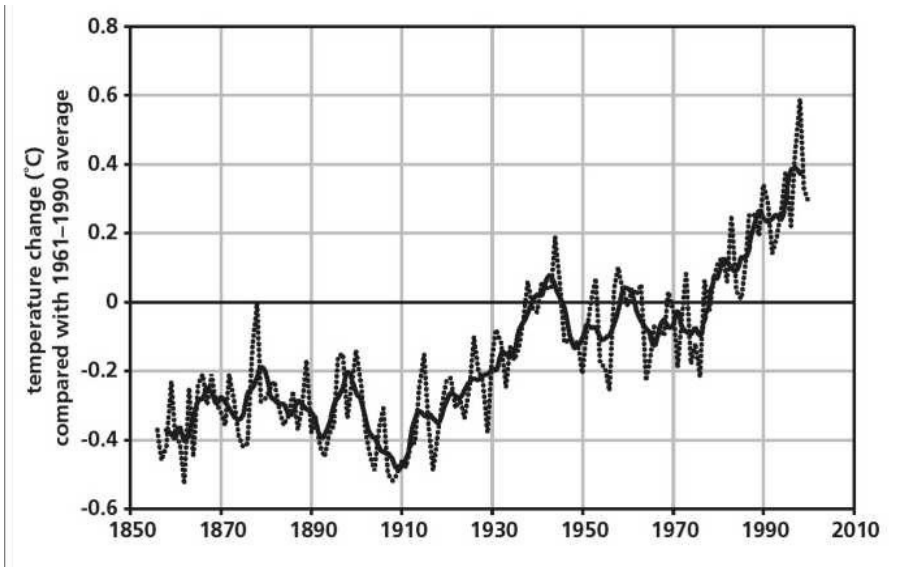


FIGUUR 3-23 Mondiale concentraties broeikasgassen

Koolstofdioxide, methaan, distikstofoxide en chloorfluorkoolwaterstoffen verminderen allemaal de afgifte van warmte van de aarde naar de ruimte, waardoor de temperatuur op aarde stijgt. De concentratie van deze gassen in de atmosfeer – met uitzondering van CFK's, die voor het eerst werden gesynthetiseerd in het midden van de 20e eeuw – neemt sinds de 19e eeuw toe. (Bronnen: CDIAC; UNEH)

Satellieten tonen een afnemende ijs- en sneeuwbedekking op het noordelijk halfrond, het poolijs wordt dunner en westerse toeristen die met een Russische ijsbreker op cruise waren, werden onlangs verrast door open water toen ze bij de Noordpool aankwamen. [140] Tussen 1980 en 1998 werden honderd gevallen van “koraalverbleking” gemeld, waarbij

koraalriffen over de hele wereld wit worden en afsterven, tegenover slechts drie gevallen in de voorgaande 100 jaar. Verbleking is een reactie van koraal die snel wordt veroorzaakt door een ongewone stijging van de oceaantemperatuur.^{Q90}



FIGUUR 3-24 De stijgende mondiale temperatuur

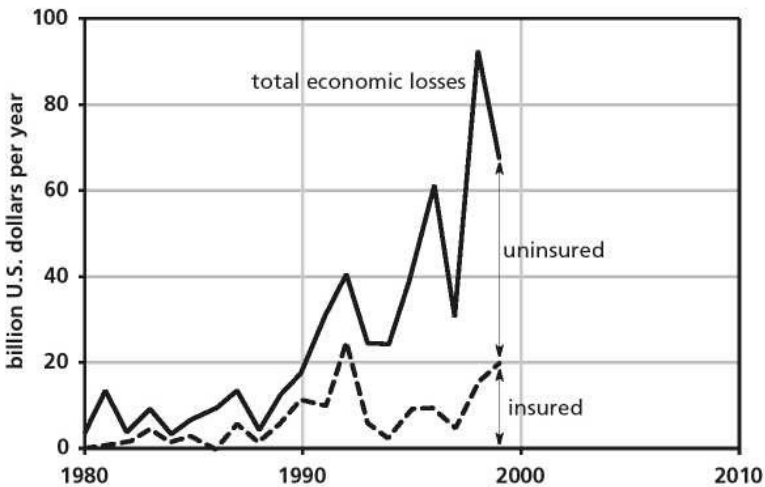
De mondiale gemiddelde temperatuur is de afgelopen eeuw met ongeveer 0,6 °C gestegen. De stippellijn geeft de jaarlijkse gemiddelden weer; de dikke lijn geeft de vijfjaarlijkse gemiddelden weer. (Bron: CDIAC.)

Zelfs sommige economen – een groep die bekend staat om haar scepsis ten aanzien van ‘milieualarmisme’ – raken ervan overtuigd dat er iets ongewoons en belangrijks gaande is in de atmosfeer, en dat dit mogelijk door de mens wordt veroorzaakt. In 1997 heeft een groep van minstens 2000 economen, waaronder zes Nobelprijswinnaars, een verkla-

ring afgegeven:

Het bewijsmateriaal wijst op een waarneembare invloed van de mens op het mondiale klimaat. Als economen zijn wij van mening dat de mondiale klimaatverandering aanzienlijke ecologische, economische, sociale en geopolitieke risico's met zich meebrengt en dat preventieve maatregelen gerechtvaardigd zijn.^{Q91}

Een van de redenen voor de toenemende bezorgdheid van economen is wellicht dat er sinds ongeveer 1985 een verontrostende stijgende trend waarneembaar is in de meetbare economische verliezen als gevolg van weersgerelateerde rampen (**figuur 3-25**).



FIGUUR 3-25 Wereldwijde economische verliezen als gevolg van weersgerelateerde rampen

De laatste twee decennia van de twintigste eeuw werden gekenmerkt door toenemende economische verliezen als gevolg van weersgerelateerde rampen. (Bron: Worldwatch Institute.)

Geen van bovenstaande waarnemingen bewijst dat de huidige klimaatverandering door de mens wordt veroorzaakt. Zelfs als dat wel het geval is, kunnen de gevolgen van de wereldwijde klimaatverandering voor de toekomstige menselijke activiteiten of de gezondheid van ecosystemen niet met zekerheid worden voorspeld. Sommigen hebben deze onzekerheid uitgebuit om verwarring te zaaien^{Q92}, en daarom is het belangrijk duidelijk te stellen wat we wel weten. Hierbij baseren we ons op de honderden wetenschappers en onderzoekers die deel uitmaken van het Intergouvernementele Panel inzake Klimaatverandering van de VN, dat ongeveer om de vijf jaar zijn zorgvuldig overwogen standpunten publiceert^{Q93}

- Het staat vast dat menselijke activiteiten, met name het verbranden van fossiele brandstoffen en ontbossing, bijdragen aan de concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer.
- Het staat vast dat de concentratie van kooldioxide (het belangrijkste broeikasgas) in de atmosfeer exponentieel toeneemt. De CO₂-concentratie wordt al tientallen jaren gemeten. De historische concentratie kan worden gemeten aan de hand van luchtbellen die zijn opgevangen in ijslagen die uit de poolkappen zijn geboord.
- Broeikasgassen houden warmte vast die anders vanuit de aarde naar de ruimte zou ontsnappen. Dat is een bekende eigenschap van hun moleculaire structuur en spectroscopische absorptiefrequenties.
- De vastgehouden warmte zal de temperatuur van de aarde verhogen tot boven het niveau dat anders zou zijn.

- De opwarming zal ongelijk verdeeld zijn, meer in de buurt van de polen dan in de buurt van de evenaar. Omdat het weer en het klimaat op aarde grotendeels worden bepaald door temperatuurverschillen tussen de polen en de evenaar, zullen wind, regen en oceaanstromingen in kracht en richting veranderen. [143]
- Op een warmere aarde zal de oceaan uitzetten en zal de zeespiegel stijgen. Als de opwarming voldoende is om grote hoeveelheden poolijs te smelten, zal de zeespiegel aanzienlijk stijgen, maar op langere termijn.

Er zijn drie grote onzekerheden. De eerste is wat de mondiale temperatuur zou zijn geweest zonder menselijke invloed. Als langetermijn klimatologische factoren die geen verband houden met de toename van broeikasgassen toevallig de aarde opwarmen, zullen de broeikasgassen deze factoren versterken. Een tweede onzekerheid is wat een opwarming van de aarde precies zal betekenen voor de temperaturen, winden, stromingen, neerslag, ecosystemen en de menselijke economie op elke specifieke plek op aarde.

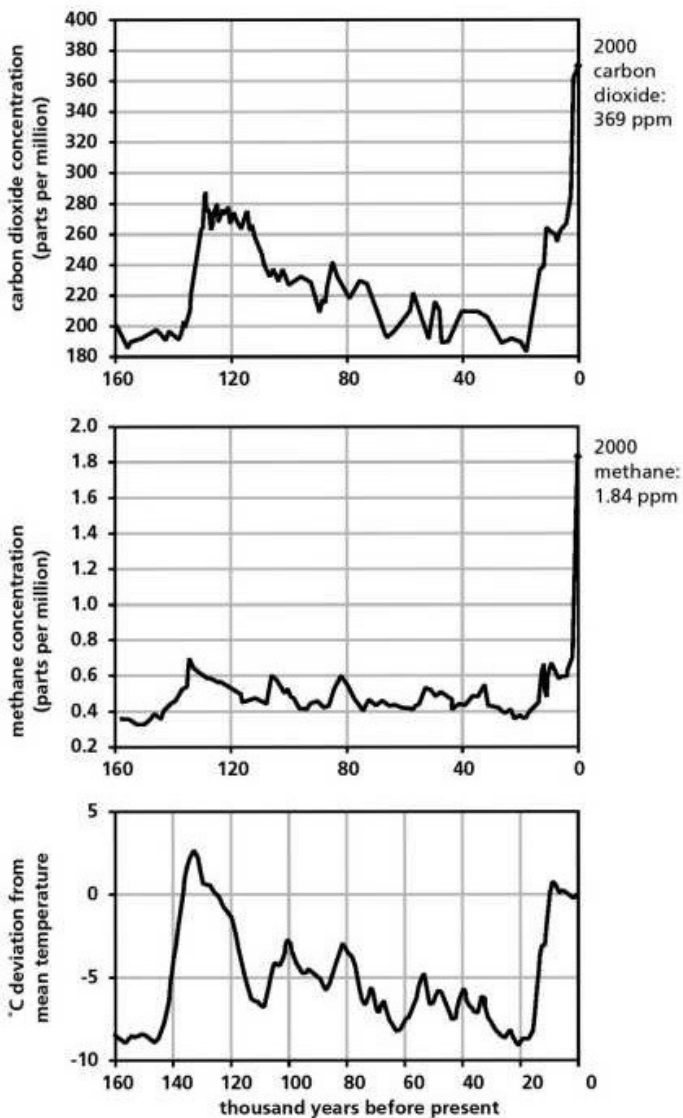
De derde grote onzekerheid heeft te maken met terugkoppelingen. Koolstofstromen en energiestromen op aarde zijn enorm complex. Er kunnen zelfcorrigerende mechanismen zijn, negatieve terugkoppelingsprocessen, die de broeikasgassen of de temperatuur stabiliseren. Een daarvan is al aan het werk: de oceanen nemen ongeveer de helft van de door de mens uitgestoten overtollige kooldioxide op. Dat effect is niet sterk genoeg om de stijging van de kooldioxideconcentratie in de atmosfeer te stoppen, maar wel voldoende om deze te vertragen.

Er kunnen ook destabiliserende positieve feedbackloops zijn, die bij stijgende temperaturen voor nog meer opwarming zorgen. Als de opwarming bijvoorbeeld de sneeuw- en ijsbedekking doet afnemen, zal de aarde minder warmte van de zon weerkaatsen, waardoor ze nog verder opwarmt. Smeltende toendrabodems kunnen enorme hoeveelheden bevroren methaan vrijgeven, een broeikasgas dat voor nog meer opwarming, nog meer smelten en nog meer methaan-uitstoot zorgt.

Niemand begrijpt hoe de vele mogelijke negatieve en positieve feedbackreacties op de toename van broeikasgassen op elkaar zullen inwerken en of de positieve of de negatieve reacties zullen overheersen. Gelukkig is er in de jaren negentig veel meer wetenschappelijk onderzoek gedaan naar deze kwesties en kunnen computersimulaties steeds betere voorspellingen doen over de waarschijnlijke klimaateffecten.^{Q94} De daaruit voortvloeiende “weersvoorspellingen voor 2050” zijn zorgwekkend genoeg om de aandacht van het publiek te trekken.

De vraag is niet of het klimaat in de toekomst verder zal veranderen als gevolg van menselijke activiteiten, maar eerder in welke mate (omvang), waar (regionale patronen) en wanneer (snelheid van verandering). [144] Het is ook duidelijk dat klimaatverandering in veel delen van de wereld nadelige gevolgen zal hebben voor sociaaleconomische sectoren, waaronder watervoorraden, landbouw, bosbouw, visserij en menselijke nederzettingen, ecologische systemen (met name koraalriffen) en de menselijke gezondheid (met name door vectoren overgedragen ziekten). Het derde evaluatierapport van het IPCC concludeerde zelfs dat de meeste mensen nadelige gevolgen

zullen ondervinden van klimaatverandering.^{Q95}



FIGUUR 3-26 Broeikasgassen en mondiale temperatuur in de afgelopen 160.000 jaar

IJskernmetingen tonen aan dat er aanzienlijke temperatuurschommelingen op aarde hebben plaatsgevonden (ijstijden en interglaciale perioden) en dat de kooldioxide- en methaanconcentraties in de atmosfeer samen met de mondiale temperatuur zijn veranderd. De recente concentraties van deze broeikasgassen zijn veel hoger gestegen dan ze waren sinds lang voor het verschijnen van de mens. (Bron: CDIAC.)

Wetenschappers weten dat er in het verleden temperatuurschommelingen op aarde hebben plaatsgevonden en dat deze niet snel zelfcorrigerend, soepel of ordelijk waren. Ze waren zelfs chaotisch. **Figuur 3-26** toont een overzicht van de temperatuur op aarde en de concentraties van twee broeikasgassen, kooldioxide en methaan, in de atmosfeer over een periode van 160.000 jaar.^{Q96} De temperatuur en de broeikasgassen zijn samen veranderd, maar het is niet duidelijk wat de oorzaak is. Waarschijnlijk veroorzaken ze elkaar in een ingewikkeld geheel van terugkoppelingsmechanismen.

Maar de belangrijkste boodschap in figuur 3-26 is dat de huidige concentraties van kooldioxide en methaan in de atmosfeer veel hoger zijn dan in de afgelopen 160.000 jaar. Wat de gevolgen ook mogen zijn, het lijkt geen twijfel dat de uitstoot van broeikasgassen door de mensheid de atmosferische putten plotseling veel sneller vult dan de planeet ze kan legen. Er is een aanzienlijk onevenwicht in de mondiale atmosfeer, en dat wordt exponentieel erger.

De processen die door dit onevenwicht in gang zijn gezet, verlopen misschien traag, gemeten naar menselijke maatstaven. Het kan tientallen jaren duren voordat de gevolgen zichtbaar worden in smeltend ijs, stijgende zeespiegel, veranderende stromingen, verschuivende regenval, zwaardere stormen en migrerende insecten, vogels of zoogdieren. Maar

het is ook aannemelijk dat het klimaat plotseling kan veranderen door positieve feedbackloops die we nog niet begrijpen. In 2002 rapporteerde een commissie van de National Academy of Sciences:

Recent wetenschappelijk bewijs toont aan dat er met verrassende snelheid grote en wijdverspreide klimaatveranderingen hebben plaatsgevonden. Zo vond ongeveer de helft van de opwarming van de Noord-Atlantische Oceaan sinds de laatste ijstijd plaats in slechts tien jaar tijd, en ging dit gepaard met aanzienlijke klimaatveranderingen in het grootste deel van de wereld.... De abrupte veranderingen van het verleden zijn nog niet volledig verklaard.^{Q97}

[146] Of het nu langzaam of snel gaat, we weten dat het eeuwen, misschien wel millennia zal duren voordat de negatieve gevolgen zijn teruggedraaid.

De negatieve milieueffecten van menselijke activiteiten die we in dit hoofdstuk hebben besproken, waren niet noodzakelijk. Ze waren allemaal te voorkomen. Vervuiling wordt steeds minder gezien als een teken van vooruitgang, maar als een teken van inefficiëntie en onzorgvuldigheid. Nu de industrie zich dit realiseert, zoekt zij snel naar manieren om haar uitstoot en grondstoffenverbruik te verminderen door productieprocessen van begin tot eind te herzien, door over te stappen van “end-of-pipe-oplossingen” (het verminderen van de uitstoot van lopende productieprocessen) naar “schonere productie” (het ontwerpen van het product en de productieprocessen om de uitstoot en het grondstoffenverbruik te minimaliseren) en naar “industriële ecologie” (het ge-

bruik van de afvalstoffen van de ene fabriek als grondstof voor een andere). Een fabrikant van printplaten investeert in ionenwisselkolommen om zware metalen uit afval terug te winnen en haalt uiteindelijk inkomsten uit de gerecyclede metalen, een veel lagere waterrekening en lagere aansprakelijkheidsverzekeringen. Een productiebedrijf vermindert zijn luchtverontreinigende emissies, zijn waterverontreinigende emissies, zijn waterverbruik en zijn productie van vast afval, en bespaart honderden miljoenen per jaar aan bedrijfskosten. Een chemisch bedrijf besluit zijn CO₂-uitstoot te verminderen om verwachte emissierechten te vermijden en realiseert tegelijkertijd een aanzienlijke besparing op zijn energiekosten.

Veel van dit werk is, misschien enigszins verrassend, zelfs op korte termijn winstgevend gebleken, afgezien van de positieve public relations die met dergelijke veranderingen gepaard gaan. De economische voordelen zullen ongetwijfeld een sterk argument vormen voor de verdere vermindering van de ecologische voetafdruk per verbruikseenheid.

Als de gemiddelde levensduur van elk product dat door de menselijke economie stroomt zou kunnen worden verdubbeld, als twee keer zoveel materialen zouden kunnen worden gerecycled, als er in de eerste plaats maar half zoveel materiaal nodig zou zijn om elk product te maken, zou dat de doorvoer van materialen met een factor acht verminderen.^{Q98} Als het energieverbruik efficiënter zou worden, als er gebruik zou worden gemaakt van hernieuwbare energiebronnen, als er minder verspilling zou zijn van land, hout, voedsel en water en als bossen zouden worden hersteld, zou

dat de toename van broeikasgassen en vele andere verontreinigende stoffen een halt toeroepen.

Voorbij de grenzen

Een ruwe schatting ... laat zien dat het huidige gebruik van natuurlijke hulpbronnen en diensten de langetermijncapaciteit van de aarde al overschrijdt.... Als iedereen op aarde dezelfde ecologische normen zou hanteren als Noord-Amerikanen, zouden we drie aardes nodig hebben om aan de totale vraag naar materialen te voldoen, met de huidige technologie.... Om de verwachte bevolkingsgroei en economische productie van de komende vier decennia op een duurzame manier op te vangen, zouden we zes tot twaalf extra planeten nodig hebben.

-MATHIS WACKERNAGEL EN WILLIAM REES, 1996

Het bewijs dat we in dit hoofdstuk hebben geleverd, plus nog veel meer informatie uit wereldwijde databases en dagelijkse berichten in de media, toont aan dat de menselijke economie de voorraden en reservoirs van de aarde niet op een duurzame manier gebruikt. Bodems, bossen, oppervlaktewateren, grondwater, wetlands, de atmosfeer en de diversiteit van de natuur worden aangetast. Zelfs op plaatsen waar de voorraden hernieuwbare hulpbronnen stabiel lijken, zoals de bossen van Noord-Amerika of de bodems van Europa, is de kwaliteit, diversiteit of gezondheid van de voorraden twijfelachtig. Verontreinigende stoffen hopen zich op; hun putten lopen over. De chemische samenstelling van de hele atmosfeer verandert op een manier die het klimaat al meet-

baar verstoort.

Leven van kapitaal, niet van inkomen

Als slechts één of enkele hulpbronnenvoorraden zouden dalen terwijl andere stabiel blijven of stijgen, zou men kunnen stellen dat de traditionele groei kan worden voortgezet door de ene hulpbron door de andere te vervangen (hoewel er grenzen zijn aan een dergelijke vervanging). Als slechts enkele putten zich zouden vullen, zou de mensheid de ene (bijvoorbeeld de oceaan) door de andere (bijvoorbeeld de lucht) kunnen vervangen. Maar aangezien veel putten zich vullen en veel voorraden slinken, en de ecologische voetafdruk van de mensheid het duurzame niveau heeft overschreden, is een fundamentele verandering nodig.

[148] Laten we duidelijk zijn: de grenzen die er zijn, zijn geen grenzen aan het niveau van de economische activiteit van de mens, gemeten aan de hand van het bruto wereldproduct. De grenzen die er zijn, beperken de ecologische voetafdruk van de menselijke activiteit. En deze grenzen zijn op korte termijn niet absoluut. Het overschrijden van de grenzen betekent niet dat we tegen een absolute muur aanlopen. De eenvoudigste analogie is die van de gewone visserij, waar de jaarlijkse vangst gedurende een hele periode de jaarlijkse aangroei kan overschrijden – in feite totdat de visstand is gedecimeerd. Op dezelfde manier kunnen de uitstoot van broeikasgassen nog een tijdje blijven stijgen, zelfs wanneer de duurzaamheidsgrenzen zijn overschreden, voordat negatieve terugkoppelingen van de klimaatverandering de uitstoot omlaag dwingen. Maar omlaag is de richting die

de doorvoer uiteindelijk zal moeten inslaan na de overschrijding, door menselijke keuze of door natuurlijke grenzen.

Veel mensen erkennen op lokaal niveau dat de menselijke voetafdruk de lokale grenzen heeft overschreden. Jakarta stoot meer luchtvervuiling uit dan de menselijke longen kunnen verdragen. De bossen in de Filippijnen zijn bijna verdwenen. De bodem van Haïti is op sommige plaatsen tot kale rotsen uitgeput. De kabeljauwvisserij voor de kust van Newfoundland is gesloten. Parijzenaars moeten in de zomer dagenlang met lagere snelheidslimieten leven om de vervuiling door hun uitlaatgassen te verminderen. In verschillende Europese landen stierven duizenden mensen voortijdig toen de zomer van 2003 nieuwe records voor hoge temperaturen vestigde. De chemische belasting van de Rijn was jarenlang zo hoog dat het gebaggerde slib uit Nederlandse havens nu als gevaarlijk afval moet worden behandeld. Skiërs die in de winter van 2001 Oslo bezochten, konden nauwelijks bruikbare sneeuw vinden.

In het geval van specifieke problemen, zoals de CFK's die de ozonlaag aantasten, is niet alleen erkend dat er sprake is van overschrijding, maar zijn ook vastberaden internationale inspanningen geleverd om corrigerende maatregelen te nemen. En de wereldwijde inspanningen om de uitstoot van broeikasgassen te beperken vorderen moeizaam, zij het gestaag gehinderd door egoïstische en kortzichtige regeringen die hun even kortzichtige en egoïstische donoren vertegenwoordigen. Het Kyoto-proces illustreert zeker de uitdaging om terug te komen van overschrijding.

Toch is er nog steeds weinig discussie over het algemene

probleem van overschrijding, weinig druk om de technische veranderingen door te voeren die dringend nodig zijn om de doorvoer efficiënter te maken, en bijna geen bereidheid om de drijvende krachten achter de bevolkingsgroei en de kapitaalgroei aan te pakken. Het gebrek aan aandacht voor overshoot was in 1987 misschien nog te vergeven. Toen vonden zelfs goed geïnformeerde groepen zoals de Wereldcommissie voor [149] Milieu en Ontwikkeling, die de wereldwijde trends onder de loep nam en ze als “simpelweg onhoudbaar” bestempelde, het politiek niet opportuun om te zeggen dat *de menselijke wereld zijn grenzen heeft bereikt*, laat staan om serieus na te denken over wat er moet gebeuren. Misschien omdat ze niet konden geloven dat het waar was. Maar nu, aan het begin van het nieuwe millennium, is het onvergeeflijk om de vreselijke realiteit van overschrijding te ontkennen en de gevolgen ervan te negeren.

De redenen om het onderwerp overschrijding te vermijden zijn begrijpelijk en politiek van aard. Elke discussie over het terugdringen van de groei leidt tot een bittere discussie over de verdeling van de beschikbare hulpbronnen en de verantwoordelijkheid voor de huidige situatie. Over het algemeen is de ecologische voetafdruk van een rijk persoon veel groter dan die van een arm persoon. Een Duitser heeft naar verluidt een voetafdruk die tien keer zo groot is als die van een Mozambikaan, terwijl een Rus evenveel hulpbronnen uit de planeet haalt als een Duitser, zonder dat hij daarvoor een behoorlijke levensstandaard heeft. Als de wereld als geheel zijn grenzen overschrijdt, wie moet er dan iets doen: de verkwistende rijken of de zich vermenigvuldigende armen of

de inefficiënte ex-socialisten? Wat de planeet betreft, is het antwoord: allemaal.

De aanhoudende armoede van de meerderheid van de wereldbevolking en de buitensporige consumptie van een minderheid zijn de twee belangrijkste oorzaken van de aantasting van het milieu. De huidige koers is onhoudbaar en uitstel van maatregelen is geen optie meer.^{Q99}

Milieuactivisten vatten de oorzaken van de aantasting van het milieu soms samen in een formule die ze IPAT noemen:

$$\text{Impact} = \text{Bevolking} \times \text{Welvaart} \times \text{Technologie}$$

De impact (ecologische voetafdruk) van een bevolking of natie op de bronnen en putten van de planeet is gelijk aan het product van de bevolking (P) maal het welvaartsniveau (A) maal de schade die wordt aangericht door de specifieke technologieën (T) die zijn gekozen om die welvaart te ondersteunen. Om de ecologische voetafdruk van de mensheid te verkleinen, lijkt het redelijk dat elke samenleving verbeteringen doorvoert waar daarvoor de meeste mogelijkheden zijn. Het Zuiden heeft de meeste ruimte voor verbetering op het gebied van P, het Westen op het gebied van A en Oost-Europa op het gebied van T.

[125] De totale ruimte voor verbetering is verbluffend. Als we elke term in de IPAT-vergelijking nauwkeuriger definiëren, zien we hoeveel manieren er zijn om de ecologische voetafdruk te verkleinen en welke enorme reducties mogelijk zijn (zie tabel 3-3).^{Q100}



TABLE 3-3 The Environmental Impact of Population, Affluence, and Technology

Population		Affluence		Technology				
population	x	capital stock person	x	material throughput capital stock	x	energy material throughput	x	environmental impact energy
Example								
population	x	cups person	x	water + soap cups/year	x	gigajoules or kilowatt-hours kilogram water + soap	x	CO ₂ , NO _x land use gigajoules or kilowatt-hours
Applicable Tools								
Family planning	Values	Production longevity	End-use efficiency	Benign sources				
Female literacy	Prices	Material choice	Conversion efficiency	Scaling				
Social welfare	Full costing	Minimum-materials design	Distribution efficiency	Siting				
Role of women	What do we want?	Recycle, reuse	Systems integration	Technical mitigation				
Land tenure	What is enough?	Scrap recovery	Process redesign	Offsets				
Approximate Scope of Long-Term Change								
~2x	?	~3–10 x	~5–10 x	~10 ² –10 ³ + x				
Time Scale of Major Change								
~50–100 years	~0–50 years	~0–20 years	~0–30 years	~0–50 years				

Welvaart wordt bepaald door een hoge consumptie, bijvoorbeeld het aantal uren dat wordt besteed aan televisiekijken, autorijden of ontspannen in een kamer. De ecologische voetafdruk van welvaart is de impact of doorvoer die wordt gegenereerd door de materialen, energie en emissies die met deze consumptie gepaard gaan. Als iemand bijvoorbeeld drie kopjes koffie per dag drinkt, kan de voetafdruk sterk verschillen naargelang er traditionele porseleinen kopjes of plastic bekiers worden gebruikt. Voor het onderhoud van porseleinen kopjes is water en zeep nodig om ze te wassen en een kleine stroom kopjes om jaarlijks gebroken kopjes te vervangen. Als iemand daarentegen polystyreenbekers gebruikt en weggooit, omvat de onderhoudsstroom alle bekiers die in een jaar worden gebruikt, evenals de aardolie en chemicaliën die nodig zijn om het polystyreen te maken en de bekiers naar hun gebruikspunt te vervoeren.

De impact van technologie wordt in **tabel 3-3** gedefinieerd als de energie die nodig is om elke materiaalstroom te produceren en te leveren, vermenigvuldigd met de milieu-impact per eenheid energie. Er is energie nodig om de klei voor keramische kopjes te delven, de klei te bakken, de kopjes bij de huishoudens te leveren en het water te verwarmen om ze af te wassen. Er is energie nodig om de olie voor polystyreenbekers te vinden en op te pompen, om de olie te vervoeren, de raffinaderij te laten draaien, het polymeer te vormen, de bekiers te gieten, de bekiers te leveren en de gebruikte bekiers naar de vuilstortplaats te vervoeren. Elk soort energie heeft zijn eigen impact op het milieu. De ecologische voetafdruk kan technologisch worden veranderd met

apparatuur voor verontreinigingsbeheersing, met veranderingen in energie-efficiëntie of door over te schakelen op een andere energiebron.

Veranderingen in een van de factoren in tabel 3-3 zullen de ecologische voetafdruk veranderen en de menselijke economie dichter bij of verder weg van de grenzen van de aarde brengen. Het verminderen van de bevolking of de hoeveelheid materiaal die door elke persoon wordt verzameld, zal helpen om de menselijke wereld binnen de grenzen van de planeet te houden. Hetzelfde geldt voor een hogere eco-efficiëntie, dat wil zeggen een lager energie- of materiaalverbruik en lagere emissies per eenheid verbruik. De tabel geeft een overzicht van enkele instrumenten die kunnen helpen om elke factor in de vergelijking te verminderen, en geeft ook een schatting van de mate waarin elke factor die een impact heeft, kan worden verminderd, en over welke periode.

[152] Zo gepresenteerd wordt duidelijk dat er heel veel keuzes zijn. De impact van de mens op de bronnen en putten van de planeet zou tot een verbazingwekkende mate kunnen worden verminderd. Zelfs als we ervan uitgaan dat op elk gebied waar verandering mogelijk is slechts minimale resultaten worden behaald, zou de impact van de mens op de planeet in totaal met een factor honderden of meer *kunnen worden verminderd*.

Als er zoveel opties zijn, waarom doen we dan niet meer moeite om ze te realiseren? Wat als we dat wel zouden doen? Wat zou er gebeuren als de trends op het gebied van bevolkingsgroei, welvaart en technologie zouden omkeren?

Hoe zit het met de onderlinge verbanden tussen deze factoren? Wat gebeurt er als de ecologische voetafdruk door technische veranderingen wordt verkleind, maar de bevolking en het kapitaal vervolgens nog verder groeien? Wat gebeurt er als de ecologische voetafdruk helemaal niet wordt verkleind?

Dit zijn vragen die niet gaan over hulpbronnenvoorraden en vervuilingsputten afzonderlijk, zoals we die in dit hoofdstuk hebben gezien, maar over de totale ecologische voetafdruk, in wisselwerking met bevolking en kapitaal, die op hun beurt weer met elkaar in wisselwerking staan. Om deze vragen te beantwoorden, moeten we verder gaan dan een statische analyse van één factor tegelijk en een dynamische analyse van het hele systeem maken.

HOOFDSTUK – 4

WERELD 3: DE DYNAMIEK VAN GROEI IN EEN EINDIGE WERELD

Als de huidige voorspellingen over de bevolkingsgroei kloppen en de patronen van menselijke activiteit op aarde onveranderd blijven, zullen wetenschap en technologie waarschijnlijk niet in staat zijn om onomkeerbare aantasting van het milieu of aanhoudende armoede in een groot deel van de wereld te voorkomen.

ROYAL SOCIETY OF LONDON AND

U.S. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, 1992

De factoren die verantwoordelijk zijn voor de groei van de bevolking en de industrie omvatten _ vele langetermijntrends die elkaar versterken en tegenwerken. Het geboortecijfer daalt sneller dan verwacht, maar de bevolking blijft groeien. Veel mensen worden rijker en vragen om meer industriële producten. Maar ze willen ook minder vervuiling. De energie- en materiaalstromen die nodig zijn om de industriële groei in stand te houden, putten de voorraden niet-hernieuwbare hulpbronnen uit en verslechteren de hernieuwbare hulpbronnen. Maar er wordt gestaag vooruitgang geboekt bij de ontwikkeling van technologieën die nieuwe reserves ontdekken en materialen efficiënter gebruiken. Elke samenleving wordt geconfronteerd met een tekort aan kapi-

taal; er zijn investeringen nodig om meer hulpbronnen te vinden, meer energie te produceren, vervuiling op te ruimen, scholen, gezondheidszorg en andere sociale diensten te verbeteren. Maar die investeringen moeten concurreren met een steeds groeiende vraag naar meer consumptiegoederen.

Hoe zullen deze trends de komende decennia op elkaar inwerken en zich ontwikkelen? Om de implicaties ervan te begrijpen, hebben we een model nodig dat veel complexer is dan de modellen in ons hoofd. Dit hoofdstuk 4 gaat over World3, het computermodel dat we hebben ontwikkeld en gebruikt. We vatten hier de belangrijkste kenmerken van de structuur van World3 samen en beschrijven een aantal belangrijke inzichten die het ons geeft over de eenentwintigste eeuw.

Het doel en de structuur van World3

[155] Het universele verlangen naar zekerheid over wat de toekomst brengt, kan leiden tot misverstanden en frustratie wanneer iemand een model presenteert als basis voor een discussie over de toekomst. We hebben daar al mee te maken gehad sinds we meer dan 30 jaar geleden de eerste editie van dit boek publiceerden. Het probleem wordt geïllustreerd in een klassieke sciencefictionroman aan de hand van een gesprek tussen een modelbouwer, Seldon genaamd, en zijn keizer.

“Ik heb begrepen dat u gelooft dat het mogelijk is om de toekomst te voorspellen.”

Seldon voelde zich plotseling moe. Het leek alsof deze verkeerde interpretatie van zijn theorie zich voortdurend zou

voordoen. Misschien had hij zijn paper niet moeten presenteren.

Hij zei: “Niet helemaal, eigenlijk. Wat ik heb gedaan is veel beperkter dan dat... Wat ik heb gedaan... is aantonen dat... het mogelijk is om een startpunt te kiezen en passende aannames te doen die de chaos onderdrukken. Dat maakt het mogelijk om de toekomst te voorspellen, natuurlijk niet in detail, maar in grote lijnen; niet met zekerheid...”

De keizer, die aandachtig had geluisterd, zei: “Maar betekent dat niet dat u hebt aangetoond hoe de toekomst kan worden voorspeld?”^{Q1}

In het resterende deel van dit boek zullen we vaak World3 gebruiken om scenario's te genereren die ons helpen om te praten over de “grote lijnen” van de toekomst. Om verwarring over onze doelstellingen te voorkomen, beginnen we met enkele definities en waarschuwingen over modellen.

Een model is een vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid. Als het een perfecte replica was, zou het niet bruikbaar zijn. Een wegenkaart zou bijvoorbeeld nutteloos zijn voor automobilisten als deze alle kenmerken van het landschap zou weergeven – deze kaart concentreert zich op wegen en laat bijvoorbeeld de meeste kenmerken van gebouwen en planten langs de weg weg. Een klein fysiek model van een vliegtuig kan nuttig zijn om de dynamica van een bepaald vleugelprofiel in een windtunnel te onderzoeken, maar het geeft geen informatie over het comfort van passagiers in het uiteindelijke vliegtuig. Een schilderij is een grafisch model dat een sfeer of de fysieke plaatsing van ele-

menten in een landschap kan weergeven. [156] Maar het geeft geen antwoord op vragen over de kosten of de isolatie van de gebouwen die het afbeeldt. Om die vragen te beantwoorden, is een ander grafisch model nodig, namelijk de bouwtekening van een architect. Omdat modellen altijd vereenvoudigingen zijn, zijn ze nooit volledig geldig; geen enkel model is volledig waar.

Het doel is juist om een model te maken dat bruikbaar is voor een specifiek doel, voor het beantwoorden van een specifieke reeks onderling samenhangende vragen. Vervolgens moet men rekening houden met de beperkingen van het model en zich bewust zijn van alle vragen die het niet beantwoordt. Wij hebben ons gericht op het bruikbaar maken van World3 voor een zorgvuldig afgebakende reeks vragen over de fysieke groei op aarde op de lange termijn. Helaas betekent dit dat World3 geen bruikbare antwoorden zal geven op de meeste vragen die u bezighouden.

Modellen kunnen vele vormen aannemen – veelvoorkomende vormen zijn mentale, verbale, grafische, wiskundige of fysieke modellen. Veel woorden in dit boek zijn bijvoorbeeld verbale modellen. Groei, bevolking, bos en water zijn slechts symbolen, eenvoudige verbale voorstellingen die staan voor zeer complexe realiteiten. Elke grafiek, diagram, kaart en foto is een grafisch model. De relaties worden uitgedrukt door het uiterlijk en de locatie van objecten op het papier. World3 is een wiskundig model. De relaties die het bevat, worden weergegeven door een reeks wiskundige vergelijkingen. We hebben geen fysieke modellen gebruikt in ons streven om groei en grenzen te begrijpen, hoewel deze

wel nuttig zijn voor veel andere doeleinden, zoals het ontwerpen van gemeenschappen of industriële producten.

Mentale modellen zijn abstracties die in onze geest bestaan. Ze zijn niet direct toegankelijk voor anderen; ze zijn informeel. Formele modellen bestaan in een vorm die direct door anderen kan worden bekeken en soms gemanipuleerd. Idealiter zouden beide met elkaar moeten interageren. Met behulp van formele modellen kunnen we meer leren over de werkelijkheid en over de mentale modellen van anderen. En dat verrijkt onze eigen mentale modellen. Naarmate we meer leren, zijn we in staat om nuttigere formele modellen te creëren. Dat iteratieve proces houdt ons al meer dan 30 jaar bezig. Dit boek is een van de resultaten daarvan.

Om dit boek te maken, hebben we woorden, gegevens, grafieken en computerscenario's verzameld. Het boek is een model van wat er in ons hoofd omgaat, en het maken ervan heeft onze kennis veranderd. Deze tekst is onze beste poging om onze huidige gedachten en inzichten over de fysieke groei op deze planeet in de komende eeuw te symboliseren. Maar dit boek is slechts een model van die gedachten, die zelf, net als de gedachten van ieder mens, slechts modellen zijn van de 'echte wereld'.

[157] Daarom staan we voor een moeilijkheid. We zullen het hebben over een formeel model, een computersimulatie van de wereld. Om dit model bruikbaar te maken, moeten we het vergelijken met de 'echte wereld', maar noch wij, noch u, onze lezers, hebben een overeengekomen 'echte wereld' om het mee te vergelijken. We hebben allemaal alleen maar mentale modellen van het geheel dat we gewoonlijk de

echte wereld noemen. Mentale modellen van de wereld om ons heen zijn gebaseerd op objectieve bewijzen en subjectieve ervaringen. Ze hebben ervoor gezorgd dat de Homo sapiens een enorm succesvolle soort is geworden. Ze hebben mensen ook in allerlei problemen gebracht. Maar wat hun sterke en zwakke punten ook zijn, menselijke mentale modellen zijn belachelijk eenvoudig in vergelijking met het immense, complexe, steeds veranderende universum dat ze proberen weer te geven.

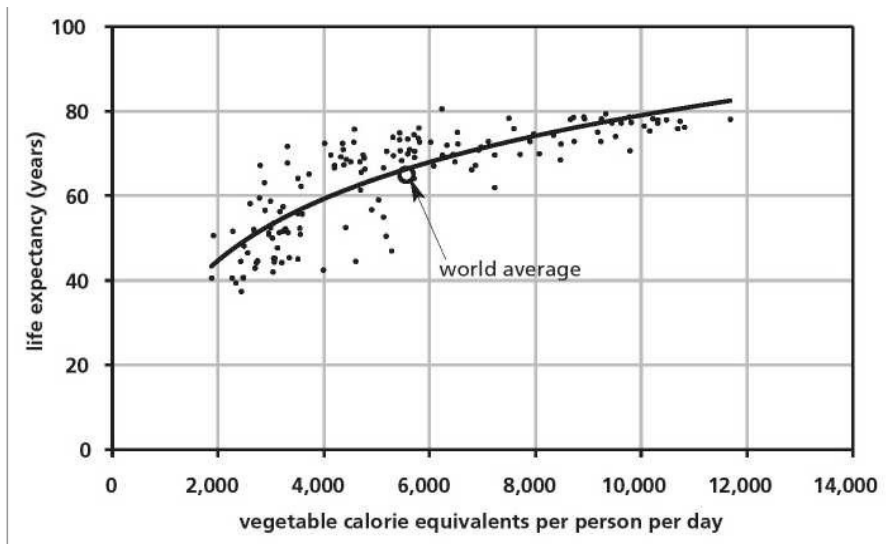
Om onszelf en u te herinneren aan onze onvermijdelijke afhankelijkheid van modellen, zullen we de referentie van het World3-model, de ‘echte wereld’, tussen aanhalingstekens plaatsen. Wat we bedoelen met ‘echte wereld’ of ‘realiteit’ is slechts het gedeelde mentale model van de auteurs van dit boek. Het woord realiteit kan nooit meer betekenen dan het mentale model van de gebruiker van dat woord. We kunnen niet om dat feit heen. We kunnen alleen maar beweren dat door het werken met ons computermodel onze mentale modellen gedwongen zijn om rigoureuzer, uitgebreider en duidelijker te worden dan ze voorheen waren. Dat is het voordeel van computermodellen: ze dwingen een zekere discipline, logica en basisboekhouding af die moeilijk te bereiken is met alleen mentale modellen. En ze bieden een veel bruikbaarere basis voor het verbeteren van mentale modellen.

World3 is complex, maar de basisstructuur is niet moeilijk te begrijpen. Het houdt voorraden bij, zoals de bevolking, het industriële kapitaal, de aanhoudende vervuiling en het bebouwde land. In het model veranderen die voorraden door stromen zoals geboorten en sterfgevallen (in het geval van

de bevolking), investeringen en afschrijvingen (in het geval van elk kapitaal), vervuiling en vervuilingassimilatie (in het geval van aanhoudende vervuiling) en (in het geval van landbouwgrond) landerosie, landontwikkeling en land dat wordt onttrokken voor stedelijk en industrieel gebruik. Slechts een fractie van de landbouwgrond wordt bebouwd. Door de hoeveelheid bebouwde grond te vermenigvuldigen met de gemiddelde opbrengst per hectare, krijgt men de totale voedselproductie. De voedselproductie gedeeld door de bevolking geeft het voedsel per hoofd van de bevolking. Als het voedsel per hoofd van de bevolking onder een kritische drempel daalt, begint het sterftecijfer te stijgen.

[158] De componenten en relaties in World3 zijn eenvoudig wanneer ze afzonderlijk worden bekeken. World3 houdt bijvoorbeeld rekening met het momentum van de bevolkingsgroei, de accumulatie van vervuiling, de lange levensduur van kapitaalgoederen en de concurrentie om investeringen tussen verschillende sectoren. Het richt zich vooral op de tijd die nodig is om dingen te laten gebeuren, de vertragingen in stromen en het trage verloop van fysieke processen. Het omvat vele tientallen feedbackloops. Deze loops zijn gesloten causale ketens waarin een element vaak de gedeeltelijke oorzaak is van zijn eigen toekomstige gedrag. Een verandering in de bevolking kan bijvoorbeeld een verandering in de economie veroorzaken. Naarmate de economische output van samenstelling verandert, zal dit van invloed zijn op de geboorte- en sterftecijfers. Die cijfers zullen de bevolking nog verder veranderen. De feedbackloops zijn een van de kenmerken die World3 dynamisch complex maken.

Een ander kenmerk zijn de vele niet-lineaire relaties. Dergelijke relaties kunnen niet met rechte lijnen worden weergegeven; ze leiden niet tot evenredige veranderingen over alle bereiken van gerelateerde variabelen. Stel dat A invloed heeft op B. In een lineaire relatie weet je dat als een verdubbeling van A een verdubbeling van B veroorzaakt, een halvering van A B met 50 procent zal verminderen. Een vervijfvoudiging van A zal B vervijfvoudigen.

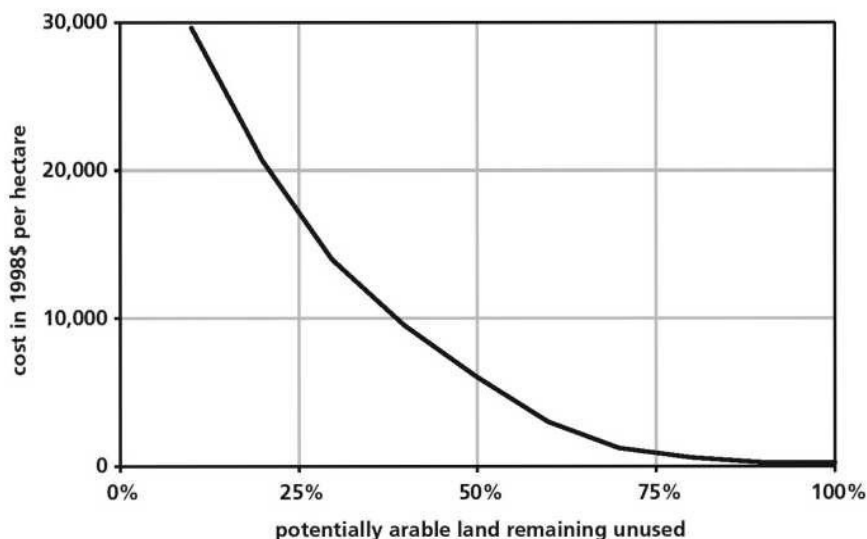


FIGUUR 4-1 Voeding en levensverwachting

De levensverwachting van een bevolking is een niet-lineaire functie van de voeding die een bevolking krijgt. Elk punt op deze grafiek vertegenwoordigt de gemiddelde levensverwachting en het voedingsniveau van een land in 1999. Het voedingsniveau wordt uitgedrukt in plantaardige calorie-equivalenten per persoon per dag; calorieën uit dierlijke bronnen worden vermenigvuldigd met een omrekeningsfactor van zeven (aangezien er ongeveer zeven calorieën plantaardig voer nodig zijn om één calorie van dierlijke oorsprong te produceren). (Bronnen: FAO; VN.)

Lineaire relaties leiden doorgaans tot gedrag dat relatief eenvoudig te begrijpen is. Maar lineariteit komt in de ‘echte wereld’ zelden voor. In World3 moeten we bijvoorbeeld de invloed van voedsel per hoofd van de bevolking op de levensverwachting van mensen weergeven. Een relatie tussen deze twee wordt weergegeven in **figuur 4-1**. Als mensen die onvoldoende voeding krijgen meer voedsel krijgen, kan hun levensverwachting aanzienlijk stijgen. Samenlevingen die erin geslaagd zijn de gemiddelde dagelijkse voedselconsumptie te verdubbelen van 2000 naar 4000 calorieën uit groenten per persoon per dag, kunnen hun gemiddelde levensverwachting met 50 procent zien stijgen, van 40 naar 60 jaar. Maar een verdere verdubbeling van de consumptie, tot 8000, gaat gepaard met een vrij geringe stijging van de levensverwachting, misschien 10 jaar extra. Op een gegeven moment kan een verdere stijging van de voedselconsumptie zelfs leiden tot een daling van de levensverwachting.

Niet-lineaire verbanden zoals deze komen overal in de “echte wereld” voor en dus ook in World3. Een voorbeeld van een niet-lineair verband dat in World3 wordt gebruikt, is te zien in **figuur 4-2**: de kosten van het ontwikkelen van nieuwe landbouwgrond, als functie van de potentieel bebouwbare grond die nog ongebruikt is. We gaan ervan uit dat de eerste boeren zich op de vruchtbaarste en best bewaterde vlaktes vestigden en met weinig kosten begonnen met verbouwen. Dit wordt weergegeven aan de rechterkant van de curve, waar bijna 100 procent van de potentieel bebouwbare grond nog onontwikkeld is.



FIGUUR 4-2 Ontwikkelingskosten van nieuwe landbouwgrond
World3 gaat ervan uit dat de kosten voor het in gebruik nemen van nieuwe landbouwgrond stijgen naarmate de hoeveelheid potentieel bebouwbare grond afneemt. (Bron: D. L. Meadows et al.)

[159] Maar naarmate meer land wordt ontwikkeld voor landbouw (naar links op de grafiek), wordt het resterende land droger of steiler, of heeft het dunnere bodems of minder gunstige temperaturen. De kosten om deze problemen op te lossen verhogen de ontwikkelingskosten van het land. In overeenstemming met het klassieke economische principe dat consumenten eerst de goedkoopste goederen kopen, gaat World3 ervan uit dat het laatste land dat onder de ploeg wordt gebracht inderdaad veel zal kosten – de kosten stijgen niet-lineair.

Het ene duwt het andere en produceert een effect. Het duwt

iets harder en in plaats van een proportioneel groter effect te produceren, is er geen verandering, of is er een veel grotere verandering, of een verandering in de tegenovergestelde richting. Vanwege deze niet-lineaire eigenschappen kunnen zowel de “echte wereld” als World3 soms verrassend gedrag vertonen, zoals we later in dit hoofdstuk zullen laten zien.

De vertragingen, niet-lineaire effecten en feedbackloops van World3 maken het model dynamisch complex, maar het blijft een grote vereenvoudiging van de werkelijkheid. Het maakt geen onderscheid tussen verschillende geografische delen van de wereld en geeft ook geen afzonderlijke weergave van rijk en arm. Vervuiling is in het model sterk vereenvoudigd. [160] Productieprocessen stoten vele duizenden verschillende verontreinigende stoffen uit. Deze verspreiden zich met verschillende snelheden door het milieu en beïnvloeden plant- en diersoorten op veel verschillende manieren. World3 legt de invloed van deze verontreinigende stoffen vast met twee geaggregeerde variabelen: één voor kortlevende luchtverontreiniging en één voor langlevende giftige stoffen. Het model maakt onderscheid tussen hernieuwbare bronnen die voedsel en vezels produceren en niet-hernieuwbare bronnen die fossiele brandstoffen en mineralen produceren, maar houdt geen afzonderlijke rekening bij van elk type voedsel, elke brandstof en elk mineraal. Het laat de oorzaken en gevolgen van geweld buiten beschouwing. Ook zijn er geen militaire middelen of corruptie expliciet vertegenwoordigd in World3.

Die eenvoud verbaast sommige mensen die ervan uitgaan dat een wereldmodel alles moet bevatten wat we over de

wereld weten, vooral alle verschillen die zo fascinerend zijn en vanuit het oogpunt van elke academische discipline zo cruciaal. Het opnemen van al die verschillen zou het model echter niet noodzakelijkerwijs beter maken. En het zou het veel moeilijker te begrijpen maken. Ondanks zijn relatieve eenvoud is World3 veel uitgebreider en complexer dan de meeste modellen die worden gebruikt om uitspraken te doen over de lange termijn toekomst van de wereld.

[161] Als je het toekomstige gedrag van een sociaal systeem wilt begrijpen, heb je een evenwichtig model nodig. Het heeft geen zin om modellen te maken met enorme details in de ene sector en grof vereenvoudigde aannames in een andere. Sommige demografische modellen houden bijvoorbeeld rekening met de twee geslachten en met veel leeftijdsgroepen in een groot aantal landen of regio's. Maar ze gaan er simpelweg van uit dat de geboorte- en sterftcijfers onafhankelijk van elkaar een vooraf bepaald patroon volgen.^{Q2} Sommige economische modellen omvatten tientallen of zelfs honderden sectoren van de economie, maar gaan uit van eenvoudige lineaire relaties tussen input en output, of van het feit dat markten vraag en aanbod snel in evenwicht brengen, of dat mensen beslissingen nemen op basis van pure economische optimalisatie en perfecte informatie.

Als een model bruikbare inzichten wil geven over het toekomstige gedrag van een systeem, moet het expliciet de oorzaken van alle belangrijke variabelen weergeven. Sommige modellen hebben honderden vergelijkingen om de invloeden op één variabele of sector weer te geven, en laten andere variabelen, zoals energieverbruik, buiten beschouwing als exo-

gene factoren die worden bepaald door factoren buiten het model, die op hun beurt zijn afgeleid van historische gegevens of de intuïtie van de modelleurs. Modellen kunnen, net als metalen kettingen, worden beperkt door hun zwakste schakel. We hebben ernaar gestreefd om de verschillende sectoren van World3 even sterk te maken. We hebben ons best gedaan om simplistische aannames te vermijden, cruciale factoren weg te laten of belangrijke variabelen afhankelijk te maken van exogene inputs.

U hoeft ons niet op ons woord te geloven. We hebben een World3-cd-rom gemaakt met het model en de documentatie. U kunt een exemplaar van de cd-rom verkrijgen, al onze scenario's reproduceren, ze vergelijken en onze interpretaties ervan evalueren.^{Q3}

Het doel van World3

Om te voorkomen dat er een ondoordringbaar woud van aannames ontstaat, moeten modelleurs zichzelf discipline opleggen. Ze kunnen niet alles wat ze weten in hun modellen stoppen; ze moeten alleen datgene opnemen wat relevant is voor het doel van het model. De kunst van het modelleren is, net als de kunst van het dichten, architectuur, techniek of cartografie, om alleen datgene op te nemen wat nodig is om het doel te bereiken, en niets meer. Dat is makkelijk gezegd, maar moeilijk gedaan.

[162] Om een model te begrijpen en de bruikbaarheid ervan te beoordelen, is het daarom belangrijk om het doel ervan te kennen. We hebben World3 ontwikkeld om een breed beeld

te krijgen van de toekomst: de mogelijke modi of gedragspatronen waarmee de menselijke economie de komende eeuw zal interageren met de draagkracht van de planeet. Natuurlijk zijn er nog veel andere belangrijke mondiale vraagstukken voor de lange termijn: Welk beleid kan de industriële ontwikkelingsmogelijkheden voor Afrika maximaliseren? Wat is het beste ontwerp voor een gezinsplanningsprogramma in een regio waar veel mensen analfabeet zijn? Hoe kan de samenleving de kloof tussen arm en rijk binnen en tussen landen dichten? Zullen conflicten of onderhandelingen de belangrijkste middelen worden om geschillen tussen landen op te lossen? De factoren en verbanden die nodig zijn om deze vragen te beantwoorden, ontbreken grotendeels in World3. Andere modellen, waaronder andere computermodellen, kunnen helpen om sommige van deze vragen te beantwoorden. Maar om bruikbaar te zijn, moeten die modellen rekening houden met de antwoorden die we geven op de kernvraag van World3: Hoe kunnen de groeierende wereldbevolking en de materiële economie de komende decennia omgaan met en zich aanpassen aan de **beperkte draagkracht van de aarde?**

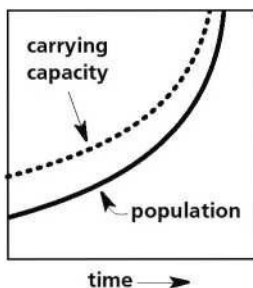
Om specifieker te zijn: de draagkracht is een grens. Elke bevolking die boven haar draagkracht groeit en de grens overschrijdt, zal niet lang standhouden. En zolang een bevolking boven de draagkracht ligt, zal zij het draagvermogen van het systeem waarvan zij afhankelijk is, aantasten. Als regeneratie van het milieu mogelijk is, zal de aantasting tijdelijk zijn. Als regeneratie niet mogelijk is, of slechts over eeuwen plaatsvindt, zal de aantasting in feite permanent zijn.

Een groeiende samenleving kan haar draagkracht op vier algemene manieren benaderen (zie **figuur 4-3a**).^{Q5} Ten eerste kan zij ononderbroken groeien, zolang haar grenzen ver weg zijn of sneller groeien dan de bevolking. Ten tweede kan zij zich geleidelijk stabiliseren onder de draagkracht, in een gedrag dat ecologen logistieke, S-vormige of sigmoïde groei noemen, zoals weergegeven in **figuur 4-3b**. Geen van beide opties is nog beschikbaar voor de mondiale samenleving, omdat deze al boven haar duurzame grenzen zit.

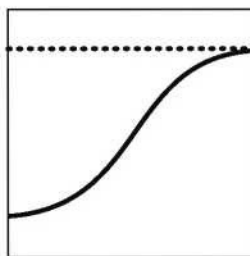
De derde mogelijkheid voor een groeiende samenleving is om haar draagkracht te overschrijden zonder enorme en permanente schade aan te richten. In dat geval zou de ecologische voetafdruk rond de grens schommelen voordat deze afvlakt. Dit gedrag, geïllustreerd in **figuur 4-3c**, wordt gedempte oscillatie genoemd.

[163] De vierde mogelijkheid is dat de grenzen worden overschreden, met ernstige en permanente schade aan de hulpbronnenbasis. Als dat zou gebeuren, zouden de bevolking en de economie snel moeten krimpen om een nieuw evenwicht te bereiken met de recent verminderde draagkracht op een veel lager niveau. We gebruiken de termen *overschrijding en ineenstorting* om deze optie aan te duiden, weergegeven in **figuur 4-3d**.

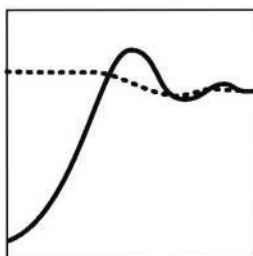
Er zijn alomtegenwoordige en overtuigende aanwijzingen dat de mondiale samenleving nu boven haar draagkracht zit. Welk beleid vergroot de kans op een soepele terugkeer naar de planetaire grenzen – een overgang zoals in 4-3c in plaats van 4-3d?



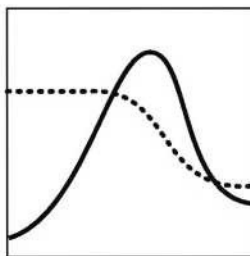
a) Continuous Growth



b) Sigmoid Approach to Equilibrium



c) Overshoot and Oscillation



d) Overshoot and Collapse

FIGUUR 4-3 Mogelijke benaderingen van een bevolking ten opzichte van haar draagkracht

De centrale vraag die in het World3-model aan de orde komt, is: Welke van deze gedragspatronen zal zich waarschijnlijk voordoen wanneer de menselijke bevolking en economie de mondiale draagkracht naderen?

Ons concept van de ‘mondiale samenleving’ omvat zowel de effecten van de omvang van de bevolking als de omvang en samenstelling van haar consumptie. Om dit concept uit te drukken, gebruiken we de term *ecologische voetafdruk*, die is gedefinieerd door Mathis Wackernagel en zijn collega's.^{Q6} Zoals we hebben aangegeven, is de ecologische voetafdruk

van de mensheid de totale belasting die de mensheid op de aarde legt. [164] Deze omvat de impact van landbouw, mijnbouw, visvangst, bosbouw, vervuilende emissies, landontwikkeling en vermindering van de biodiversiteit. De ecologische voetafdruk neemt doorgaans toe wanneer de bevolking groeit, omdat deze toeneemt wanneer de consumptie stijgt. Maar hij kan ook krimpen wanneer geschikte technologieën worden gebruikt om de impact per eenheid menselijke activiteit te verminderen.

De bezorgdheid die ons ertoe heeft aangezet World3 te ontwikkelen, kan ook op een andere manier worden verwoord. Aangezien de ecologische voetafdruk van de wereldbevolking momenteel boven de draagkracht van de aarde ligt, is de vraag of het huidige beleid zal leiden tot een relatief vreedzame, ordelijke oscillatie, zonder dat de bevolking en de economie drastisch moeten krimpen. Of zal de mondiale samenleving instorten? Als instorting waarschijnlijker is, wanneer zal dat dan gebeuren? Welk beleid kan nu worden gevoerd om het tempo, de omvang en de sociale en ecologische kosten van de achteruitgang te verminderen?

Dit zijn vragen over algemene gedragsmogelijkheden, niet over precieze toekomstige omstandigheden. Om ze te beantwoorden is een ander soort model nodig dan voor nauwkeurige voorspellingen. Als je bijvoorbeeld een bal recht omhoog gooit, weet je genoeg om te beschrijven hoe hij zich in grote lijnen zal gedragen. Hij zal met afnemende snelheid stijgen, dan van richting veranderen en steeds sneller vallen tot hij de grond raakt. Je weet dat hij niet eeuwig zal blijven stijgen, noch rond de aarde zal gaan cirkelen, noch drie keer

een looping zal maken voordat hij landt.

Als je precies zou willen voorspellen hoe hoog de bal zou stijgen of precies waar en wanneer hij de grond zou raken, zou je nauwkeurige informatie nodig hebben over vele eigenschappen van de bal, de hoogte, de wind, de kracht van de eerste worp en de wetten van de fysica. Op dezelfde manier zouden we, als we de exacte omvang van de wereldbevolking in 2026 zouden willen voorspellen, of willen voorspellen wanneer de wereldolieproductie haar hoogtepunt zal bereiken, of precies willen aangeven hoe snel de bodemerosie in 2070 zal zijn, een veel ingewikkelder model nodig hebben dan World3.

Voor zover wij weten, is nog niemand ook maar in de buurt gekomen van het maken van een dergelijk model, en wij geloven ook niet dat iemand daar ooit in zal slagen. Het is simpelweg niet mogelijk om nauwkeurige “puntvoorspellingen” te doen over de toekomst van de wereldbevolking, het kapitaal en het milieu over enkele decennia. Niemand weet genoeg om dat te doen, en er zijn uitstekende redenen om aan te nemen dat dat ook nooit zal gebeuren. Het mondiale sociale systeem is verschrikkelijk en wonderbaarlijk complex, en veel van de cruciale parameters ervan zijn nog niet gemeten. Sommige zijn waarschijnlijk niet meetbaar. *Het menselijk begrip van complexe ecologische cycli is zeer beperkt.* [165] Bovendien maakt het vermogen van mensen om te observeren, zich aan te passen en te leren, keuzes te maken en hun doelen te veranderen, het systeem inherent onvoorspelbaar.

Daarom was het niet onze bedoeling om bij het opstellen

van ons formele wereldmodel punctuele voorspellingen te doen, maar om de grote lijnen en de gedragstendensen van het systeem te begrijpen. Ons doel is om mensen te informeren en hun keuzes te beïnvloeden. Om deze doelen te bereiken, hoeven we de toekomst niet nauwkeurig te voorspellen. We hoeven alleen maar beleid te identificeren dat de kans op duurzaam systeemgedrag vergroot en de ernst van een toekomstige ineenstorting vermindert. Een voorspelling van een ramp die wordt gedaan aan een intelligent publiek dat in staat is om te handelen, zou idealiter zichzelf tenietdoen of weerleggen door actie te ondernemen om de ramp te voorkomen. Om al deze redenen hebben we ervoor gekozen om ons te concentreren op patronen in plaats van op individuele cijfers. Met World3 hopen we bezig te zijn met een zelfvervullende profetie.

Om onze doelen te bereiken, hebben we in World3 het soort informatie opgenomen dat u zou kunnen gebruiken om de gedragstendensen van gegooide ballen (of groeiende economieën en bevolkingen) te begrijpen, niet het soort informatie dat u nodig zou hebben om de exacte baan van één specifieke worp van één specifieke bal te beschrijven.

Wij houden ons bezig met veranderingen die zich over vele decennia voltrekken. Daarom hebben we onze aandacht vooral gericht op persistente stoffen, dat wil zeggen stoffen die vele, vele jaren in het milieu achterblijven. We geven persistente verontreiniging weer als de verzameling van langlevende chemische verbindingen en metalen die door de landbouw en de industrie worden geproduceerd en die de gezondheid van mensen en gewassen kunnen aantasten. We

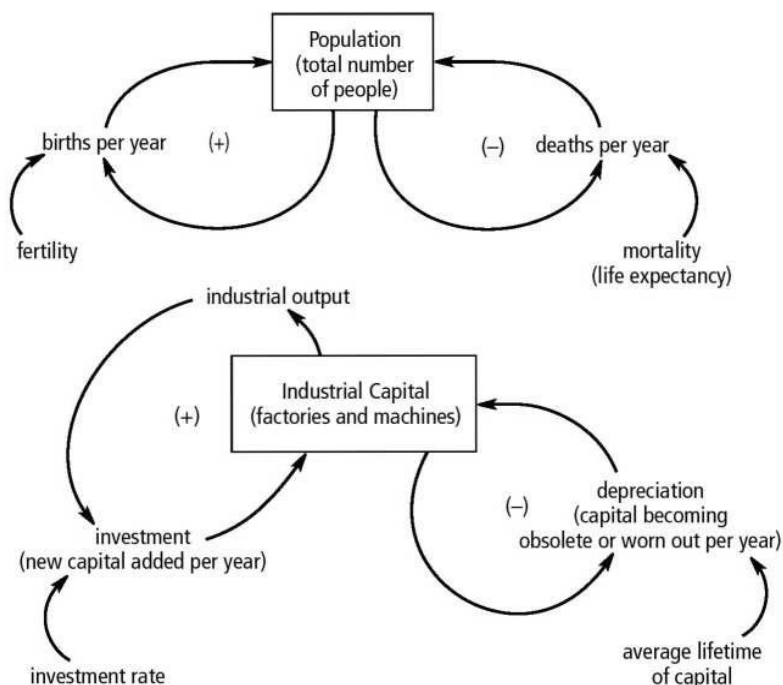
hebben een vertraging ingebouwd voordat verontreiniging een plaats bereikt waar ze meetbare schade kan aanrichten, omdat we weten dat het tijd kost voordat een pesticide in het grondwater terechtkomt, een chloorfluorkoolstofmolecuul opstijgt en de ozonlaag beschadigt, of kwik in een rivier terechtkomt en zich ophoopt in het vlees van vissen. We hebben rekening gehouden met het feit dat natuurlijke processen de meeste verontreinigende stoffen na verloop van tijd onschadelijk kunnen maken, maar ook met het feit dat die natuurlijke reinigingsprocessen zelf kunnen worden verstoord. In World3 zijn algemeen aanvaarde dynamische kenmerken van persistente verontreinigende stoffen opgenomen, maar het model maakt geen onderscheid tussen de unieke eigenschappen van PCB's, CFK's, DDT, zware metalen en radioactief afval.

[166] In World3 hebben we de beste cijfers gebruikt die we konden vinden, maar we erkennen dat veel van onze schattingen een grote mate van onzekerheid bevatten. Wanneer er twijfel bestaat over belangrijke cijfers, testen modelbouwers een breed scala aan mogelijkheden. Ze kijken of schattingen binnen de onzekerheidsmarge tot significant andere conclusies leiden. Zo hebben we op basis van gegevens van geologen een zo goed mogelijk inschatting gemaakt van de hoeveelheid niet-hernieuwbare hulpbronnen die nog in de grond aanwezig zijn. Vervolgens hebben we dat aantal gehalveerd en verdubbeld om te zien welk verschil het zou maken voor het gedrag van ons modelsysteem als de geologen het bij het verkeerde eind hadden of als we hun gegevens verkeerd hadden geïnterpreteerd.

Vanwege de onzekerheden en vereenvoudigingen waarvan we weten dat ze in het model aanwezig zijn (en andere die we vermoeden, maar nog niet hebben ontdekt), hechten we geen vertrouwen aan de precieze cijfermatige ontwikkeling die het model genereert voor de bevolking, vervuiling, kapitaal of voedselproductie. Toch denken we dat de belangrijkste onderlinge verbanden in World3 een goede weergave zijn van de belangrijke causale mechanismen in de menselijke samenleving. Die onderlinge verbanden, en niet de precieze cijfers, bepalen het algemene gedrag van het model. Daarom hebben we wel vertrouwen in het dynamische gedrag dat World3 genereert. We zullen elf verschillende scenario's voor de toekomst presenteren, tot het jaar 2100, en we zijn van mening dat deze scenario's belangrijke inzichten en principes onderbouwen over de vraag of en onder welke omstandigheden de bevolking, de industrie, de vervuiling en aanverwante factoren in de toekomst zullen groeien, stabiel blijven, schommelen of instorten.

De structuur van World3

Wat zijn de belangrijkste onderlinge verbanden? Ze beginnen met de feedbackloops tussen bevolking en kapitaal die we in hoofdstuk 2 hebben beschreven. Die loops zijn weergegeven in **figuur 4-4**. Ze geven bevolking en kapitaal het potentieel om exponentieel te groeien als de positieve loops van geboorte en investeringen overheersen, het potentieel om te dalen als de negatieve loops van sterfte en waardevermindering overheersen, en het potentieel om constant te blijven als de loops in evenwicht zijn.



FIGUUR 4-4 Feedbackloops die de groei van de bevolking en het kapitaal regelen

De centrale feedbackloops van het World3-model regelen de groei van de bevolking en het industriële kapitaal. De twee positieve feedbackloops met betrekking tot geboorten en investeringen zorgen voor de exponentiële groei van de bevolking en het kapitaal. De twee negatieve feedbackloops met betrekking tot sterfgevallen en waardevermindering hebben de neiging om deze exponentiële groei te reguleren. De relatieve sterkte van de verschillende loops hangt af van vele andere factoren in het systeem.

In al onze feedbacklusdiagrammen, zoals figuur 4-4, geven de pijlen eenvoudigweg aan dat de ene variabele de andere beïnvloedt via fysieke of informatieve stromen. U kunt onze

aannames uitleggen door elk van onze lussen achtereenvolgens te bespreken. Bijvoorbeeld: naarmate het industrieel kapitaal toeneemt, zal dit van invloed zijn op de industriële productie. Veranderingen in de industriële productie leiden tot veranderingen in de investeringen. Naarmate de investeringen veranderen, zal dit van invloed zijn op de industriële kapitaalvoorraad. De aard en mate van invloed worden niet weergegeven in de diagrammen, maar moeten natuurlijk wel nauwkeurig worden gespecificeerd in de wiskundige vergelijkingen waaruit World3 bestaat. De richting van de invloedsstromen, met de klok mee of tegen de klok in, maakt geen enkel verschil. De betekenis zit in de samenstelling van de lussen.

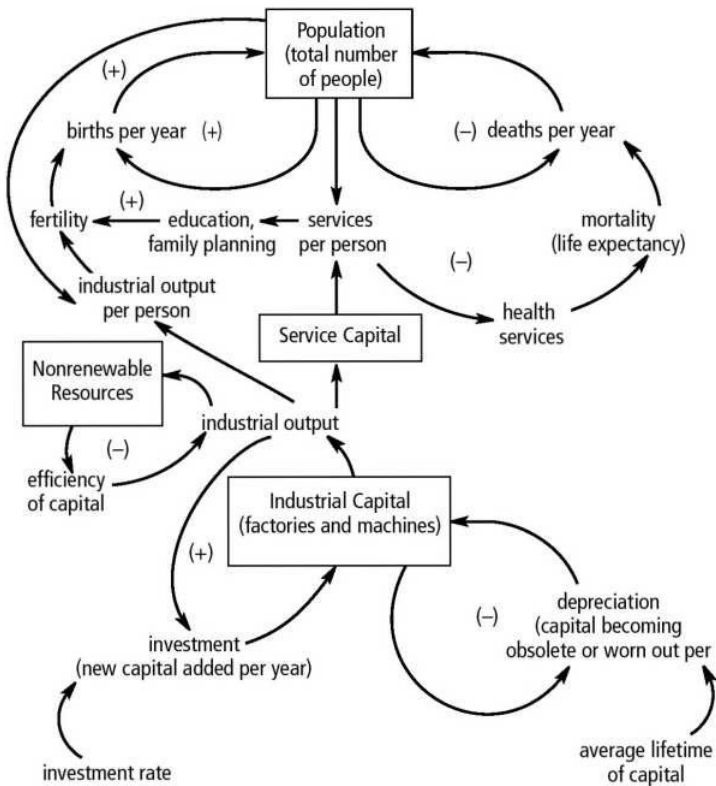
De vakjes in de diagrammen geven voorraden aan. Dit kunnen belangrijke accumulaties van fysieke grootheden zijn, zoals bevolking, fabrieken of vervuiling. [168] Of ze kunnen immateriële accumulaties vertegenwoordigen, zoals kennis, ambities of technische capaciteit. De voorraden in een systeem veranderen doorgaans langzaam, omdat ze overeenkomen met zaken of informatie met een relatief lange levensduur. Op elk moment vertegenwoordigt de omvang van een voorraad het netto-effect over de hele geschiedenis van de snelheden waarmee er in de voorraad wordt gestroomd, minus de snelheden waarmee eruit wordt gestroomd. De aanwezige fabrieken, het aantal mensen, de hoeveelheid verontreinigende stoffen, de hoeveelheid niet-hernieuwbare hulpbronnen die nog in de grond aanwezig zijn, de oppervlakte van het ontwikkelde land – dit alles en nog veel meer zijn belangrijke voorraden in World3.

Feedbackloops in de diagrammen zijn gemarkeerd met (+) als het positieve loops zijn - zelfversterkende loops die exponentiële groei of exponentiële afname kunnen genereren. Ze zijn gemarkeerd met (-) als het negatieve loops zijn - doelgerichte loops die de richting van de verandering omkeren of proberen het systeem in evenwicht te brengen.

Enkele manieren waarop bevolking en kapitaal elkaar beïnvloeden in World3 worden weergegeven in **figuur 4-5**. Industrieel kapitaal produceert industriële output, die bestaat uit vele soorten producten, waaronder landbouwinputs, zoals meststoffen, pesticiden en irrigatiepompen. Landbouwinputs zullen toenemen als de hoeveelheid voedsel per persoon onder het gewenste niveau daalt. Dit laatste is een maatstaf voor de marktvraag plus niet-marktprogramma's om de bevolking te voeden, en verandert met het industrialisatieniveau van de samenleving. Landbouwinputs en het areaal aan landbouwgrond helpen de voedselproductie bepalen. Voedsel wordt ook beïnvloed door vervuiling, die zowel afkomstig is van industriële als agrarische activiteiten. Zowel de hoeveelheid voedsel per hoofd van de bevolking als de vervuiling beïnvloeden de sterfte van de bevolking.

Figuur 4-6 toont de belangrijkste verbanden tussen bevolking, industrieel kapitaal, dienstverlenend kapitaal en niet-hernieuwbare hulpbronnen in World3. Een deel van de industriële productie neemt de vorm aan van dienstverlenend kapitaal: huizen, scholen, ziekenhuizen, banken en de apparatuur die daarin aanwezig is. Dit wordt geïnvesteerd in de dienstensector om het niveau van het dienstverlenend kapitaal te verhogen. De output van dienstverlenend kapitaal ge-

deeld door de bevolking geeft het gemiddelde niveau van dienstverlening per persoon. Gezondheidszorg verlaagt de sterfte onder de bevolking. Onderwijs en gezinsplanning verlagen de vruchtbaarheid en daarmee het geboortecijfer.



FIGUUR 4-6 Feedbackloops van bevolking, kapitaal, diensten en hulpbronnen

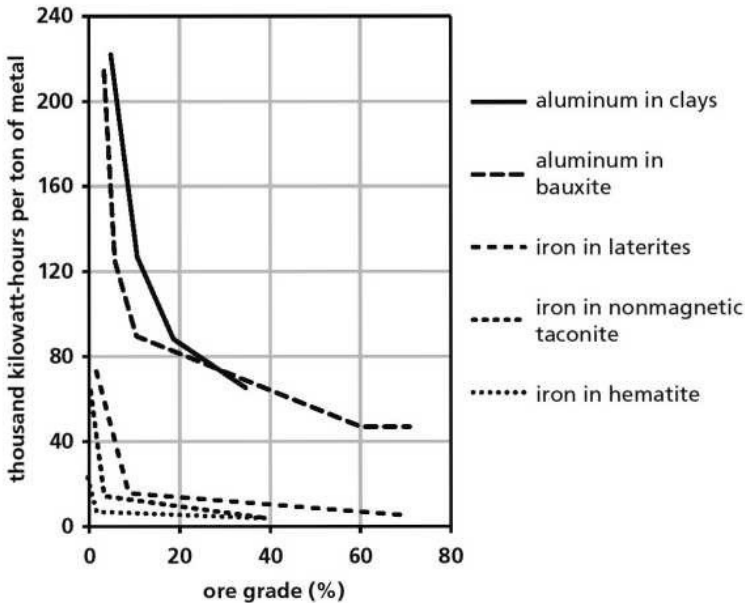
Bevolking en industrieel kapitaal worden ook beïnvloed door het niveau van dienstverlenend kapitaal (zoals gezondheidszorg en onderwijs) en niet-hernieuwbare hulpbronnen.

Een stijgende industriële output per hoofd van de bevolking verlaagt ook de vruchtbaarheid, een effect dat (na enige vertraging) voortvloeit uit veranderende werkgelegenheidspatronen. [169] Met de industrialisatie stijgen de kosten voor het opvoeden van kinderen en nemen de voordelen van grote gezinnen af. Daardoor daalt de gewenste gezinsgrootte, wat de vruchtbaarheid verlaagt.

Elke eenheid industriële productie verbruikt niet-hernieuwbare hulpbronnen. Technologische vooruitgang in het model zal geleidelijk de hoeveelheid hulpbronnen die per eenheid industriële productie nodig is, verminderen, als alle andere factoren gelijk blijven. Maar het model staat de industrie niet toe om materiële goederen uit het niets te vervaardigen. Naarmate niet-hernieuwbare hulpbronnen afnemen, neemt de efficiëntie van het hulpbronnenkapitaal af: één eenheid kapitaal levert steeds minder hulpbronnen aan de industriële sector. [170] Naarmate hulpbronnen worden verbruikt, wordt aangenomen dat de kwaliteit van de resterende reserves afneemt. Aangenomen wordt dat er steeds dieper naar voorraden moet worden gezocht en dat deze steeds verder van hun plaats van gebruik moeten worden gewonnen. Dat betekent dat er meer kapitaal en energie nodig is om een ton koper of een vat olie uit de grond te halen, te raffineren en te vervoeren. Op korte termijn kunnen deze trends worden gecompenseerd door technologische vooruitgang. Op lange termijn zullen ze de capaciteit voor fysieke groei vermindere-

[171] De relatie tussen de resterende hulpbronnen en de hoeveelheid kapitaal die nodig is om deze te verkrijgen, is

bepaald niet-lineair. De algemene vorm van de curve is weergegeven in **figuur 4-7**. Deze grafiek toont de energie die nodig is om ijzer en aluminium te winnen en te raffineren bij verschillende ertsgehaltenes. Energie is geen kapitaal (de werkelijke hoeveelheid kapitaal die bij de winning wordt gebruikt, is moeilijk te meten).



FIGUUR 4-7 Energie die nodig is om zuiver metaal uit erts te produceren

Naarmate het metaalgehalte afneemt, is er steeds meer energie nodig om ertsen te zuiveren. (Bron: N. J. Page en S. C. Creasey.)

Maar de hoeveelheid energie die nodig is om een taak uit te voeren, geeft belangrijke aanwijzingen over het benodigde kapitaal. Naarmate de ertsgraad daalt, moet er meer gesteent-

te per ton eindgrondstof worden gewonnen; het gesteente moet fijner worden vormalen; het moet nauwkeuriger worden gesorteerd op de verschillende mineralen waaruit het bestaat; en er moeten grotere afvalbergen worden verwerkt. Voor dit alles zijn machines nodig. Als er meer energie en kapitaal nodig is in de grondstoffensector, is er minder investeringskapitaal beschikbaar voor andere doeleinden in de economie, als alle andere factoren gelijk blijven.

Een diagram van alle onderlinge verbanden in World3, waarin alle aannames die in het model zijn verwerkt worden geïllustreerd, is opgenomen op de World3-cd-rom, samen met veel meer gedetailleerde informatie over elk van de elf scenario's.

Toch is het niet nodig om al deze verbanden te begrijpen om te begrijpen hoe het model werkt en om de scenario's te kunnen beoordelen. Daarvoor volstaat het om de belangrijkste kenmerken van het model te begrijpen:

- De groeiprocessen.
- De grenzen.
- De vertragingen.
- De erosieprocessen.

We hebben de groeiprocessen van bevolking en kapitaal al beschreven in hoofdstuk 2. In hoofdstuk 3 hebben we veel informatie gegeven over milieugrenzen in de 'echte wereld'. Vervolgens zullen we de grenzen weergeven zoals ze in World3 worden weergegeven. Daarna beschrijven we de

vertragingen en de erosieprocessen die we in ons computer-model hebben opgenomen.

De belangrijke vraag die u tijdens de volgende bespreking in gedachten moet houden, is of en onder welke omstandigheden er parallellen of verschillen zijn tussen het computer-model dat we bespreken en de ‘echte’ bevolking en economie, zoals u die kent via uw eigen mentale model. [172] Waar er verschillen zijn, wordt u geconfronteerd met de vragen waar modelbouwers voortdurend mee worstelen. Welk van de twee modellen – het uwe of World3 – lijkt nuttiger om over de toekomst na te denken? Is er een test die u kan helpen dit te achterhalen? Als het computermodel nuttiger lijkt, welke kenmerken ervan moet u dan in uw mentale model opnemen, zodat uw interpretaties van mondiale vraagstukken nuttig zijn en uw acties effectief?

Grenzen en geen grenzen

Een exponentieel groeiende economie put hulpbronnen uit, produceert afval en onttrekt land aan de productie van hernieuwbare hulpbronnen. Omdat ze functioneert binnen een eindige omgeving, zal de groeiende economie spanningen gaan veroorzaken. Deze spanningen beginnen al lang voordat de samenleving het punt bereikt waarop verdere groei volstrekt onmogelijk is. Als reactie op de spanningen begint het milieu signalen naar de economie te sturen. Deze signalen nemen vele vormen aan. [173] Er is meer energie nodig om water uit slinkende watervoerende lagen te pompen, de investering die nodig is om een hectare nieuwe landbouwgrond te ontwikkelen stijgt, schade door emissies die als on-

schadelijk werden beschouwd, wordt plotseling zichtbaar, natuurlijke systemen van de aarde herstellen zich langzamer onder de druk van vervuiling. Deze stijgende reële kosten komen niet noodzakelijkerwijs onmiddellijk tot uiting in hogere geldprijzen, omdat marktprijzen kunnen worden verlaagd door middel van fiatgeld of subsidies en op andere manieren kunnen worden verstoord. Of ze nu worden bekrachtigd door stijgende marktprijzen of niet, de signalen en druk fungeren als belangrijke onderdelen van negatieve feedbackloops. Ze proberen de economie in overeenstemming te brengen met de beperkingen van het omringende systeem. Dat wil zeggen dat ze de groei van de ecologische voetafdruk die de bronnen en putten van de planeet belast, proberen te stoppen.

World3 bevat slechts enkele soorten beperkingen met betrekking tot planetaire bronnen en putten. (De “echte wereld” bevat er veel meer.) Ze kunnen allemaal worden verhoogd of verlaagd door technologieën, acties, doelwijzigingen en keuzes binnen de modelwereld. In de standaardversie van World3 zijn dit de bron- en putbeperkingen:

- Cultuurland is land dat wordt gebruikt voor alle vormen van landbouw. We gaan uit van een maximale waarde van 3,2 miljard hectare. Landbouwgrond wordt uitgebreid door investeringen in landontwikkeling. Zoals weergegeven in figuur 4-2, wordt aangenomen dat de kosten voor het ontwikkelen van nieuwe grond stijgen naarmate de meest toegankelijke en gunstige grond als eerste wordt ontwikkeld. Grond wordt onttrokken aan de landbouw door erosie en door omvorming ten behoeve van verstedelijking en industrialisering. Erosie kan worden vermin-

derd door investeringen in landonderhoud.

- Bodemvruchtbaarheid is het inherente vermogen van de bodem om plantengroei te ondersteunen – een combinatie van nutriëntengehalte, bodemdiepte, waterhoudend vermogen, klimaat en bodemstructuur. We gaan ervan uit dat de bodemvruchtbaarheid in 1900 voldoende was om jaarlijks 600 kilogram graanequivalent per hectare te produceren zonder toevoeging van meststoffen. De bodemvruchtbaarheid wordt aangetast door vervuiling, die deels afkomstig is van industriële landbouwproducten. Aangeaste grond die braak ligt, zal naar verwachting in twintig jaar de helft van zijn vruchtbaarheid terugkrijgen, of aanzienlijk sneller als daarvoor wordt geïnvesteerd (bijvoorbeeld in bemesting, het planten van peulvruchten of compostering). [175]
- De opbrengst die per eenheid grond kan worden behaald, is afhankelijk van de bodemvruchtbaarheid, de luchtvervuiling, de intensiteit van industriële inputs zoals meststoffen en het technologische niveau. Industriële inputs verhogen de opbrengst, maar hebben een afnemend rendement: elke extra kilo meststof levert minder extra opbrengst op dan de kilo ervoor. We gaan er in eerste instantie van uit dat de toepassing van industriële inputs de natuurlijke bodemvruchtbaarheid met maximaal een factor 7,4 kan verbeteren (let wel: dit is 740 procent en geldt voor alle grond, niet alleen voor de meest productieve akkers!)-en we kunnen de onzekerheid van dit cijfer toetsen door het nog hoger te stellen.
- Niet-hernieuwbare hulpbronnen zijn onder meer mineralen, metalen en fossiele brandstoffen. We beginnen het model doorgaans in het gesimuleerde jaar 1900 met een

voorraad van deze hulpbronnen die meer dan 7000 keer groter is dan de winning in het jaar 1900.^{Q7} We gaan ervan uit dat de investeringen die nodig zijn om niet-hernieuwbare hulpbronnen te vinden en te winnen, stijgen naarmate de rijkste en meest gemakkelijk te exploiteren voorraden eerst worden gewonnen.

- Het vermogen van de aarde om vervuiling op te nemen is een andere beperking die in World3 wordt weergegeven. Dit is het netto-effect van veel verschillende processen die langlevende, giftige stoffen opslaan of omzetten, zodat ze geen schade meer kunnen veroorzaken. We hebben het hier over stoffen zoals organochloorverbindingen, broeikasgassen en radioactief afval. We drukken deze beperking uit als de assimilatiehalfwaardetijd van het milieu: de tijd die natuurlijke processen nodig hebben om de helft van de bestaande vervuiling onschadelijk te maken. Sommige giftige stoffen, zoals isotopen van plutonium, hebben natuurlijk een bijna oneindige halfwaardetijd. Maar we hebben hier zeer optimistische cijfers gebruikt. We zijn ervan uitgegaan dat de halfwaardetijd in 1970 één jaar was. Als de hardnekkige vervuiling stijgt tot 250 keer het niveau van 1970, zou de halfwaardetijd toenemen tot 10 jaar. Kwantitatief gezien is dit de minst begrepen grens van allemaal, zelfs voor elke afzonderlijke verontreinigende stof. Er bestaat dus enorme onzekerheid over de omvang van deze grens voor persistente verontreinigende stoffen in combinatie.

[175] Gelukkig zijn de aannames die we doen over het verdwijnen van persistente verontreinigende stoffen niet zo belangrijk in het model, omdat die stoffen geen grote invloed

hebben op de parameters in andere delen van World3. We zijn ervan uitgegaan dat als de geaccumuleerde vervuiling stijgt tot vijf keer het niveau van 2000, de levensverwachting van de mens met minder dan 2 procent zou dalen. In onze 11 scenario's stijgt de persistente vervuiling zelden tot vijf keer de waarde van 2000. Wanneer dat wel het geval is, in extreme scenario's, daalt de vruchtbaarheid van de bodem met 10 procent of meer per jaar. Maar die daling kan worden gecompenseerd door investeringen in landonderhoud. We testen andere schattingen in het model om te zien wat de effecten daarvan zouden zijn.

In de “echte wereld” zijn er nog veel andere soorten beperkingen, waaronder bestuurlijke – politiek – en sociale. Sommige daarvan zijn impliciet aanwezig in de cijfers in World3, aangezien de coëfficiënten van ons model zijn ontleend aan de “werkelijke” geschiedenis van de afgelopen 100 jaar. Maar in World3 zijn er geen oorlogen, geen stakingen, geen corruptie, geen drugsverslaving, geen criminaliteit en geen terrorisme. De gesimuleerde bevolking doet haar best om de waargenomen problemen op te lossen, zonder afgeleid te worden door strijd om politieke macht, etnische intolerantie of corruptie. Omdat veel sociale beperkingen ontbreken, schetst World3 een te optimistisch beeld van de toekomstige mogelijkheden.

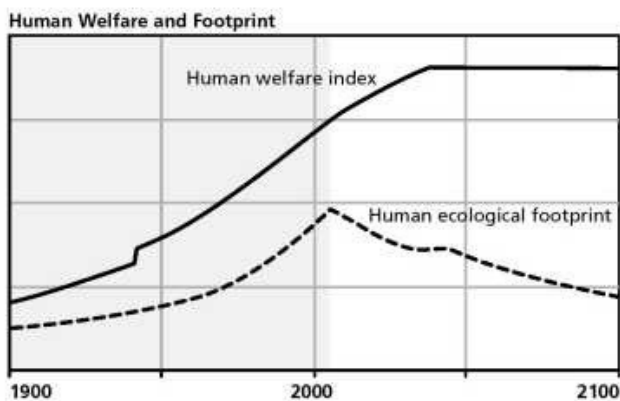
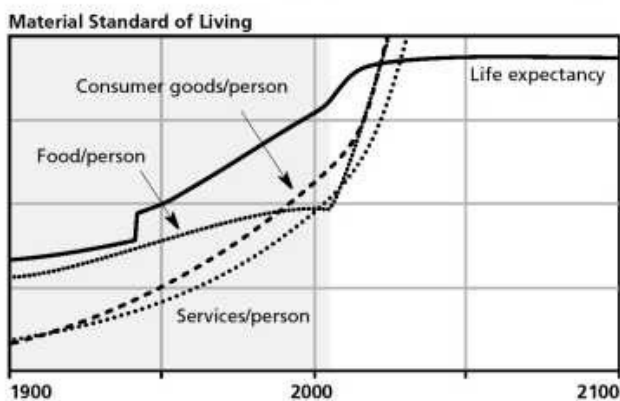
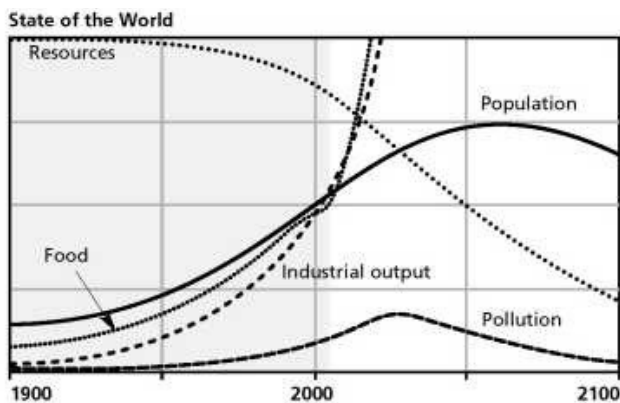
Wat als we ons bijvoorbeeld vergissen over de hoeveelheid niet-hernieuwbare grondstoffen die nog in de grond te vinden zijn? Wat als het werkelijke aantal slechts de helft is van wat we hebben aangenomen, of het dubbele, of tien keer zoveel? Wat als het ‘werkelijke’ vermogen van de aarde om

vervuiling op te nemen zonder schade aan de menselijke bevolking niet tien keer zo groot is als het emissieniveau van 1990, maar vijftig keer of vijfhonderd keer zo groot? (Of 0,5?) Wat als er technologieën worden uitgevonden die de uitstoot van vervuiling per eenheid industriële productie verminderen (of verhogen)?

Een computermodel is een hulpmiddel om dergelijke vragen te beantwoorden. Het kan snel en goedkoop worden gebruikt om tests uit te voeren. Al die ‘wat als’-vragen zijn testbaar. Het is bijvoorbeeld mogelijk om de cijfers voor de limieten van World3 astronomisch hoog in te stellen of ze zo te programmeren dat ze exponentieel groeien. Dat hebben we geprobeerd. Wanneer alle fysieke grenzen effectief uit het modelsysteem worden verwijderd door een veronderstelde technologie die onbeperkt potentieel heeft, vrijwel onmiddellijk effect heeft, geen kosten met zich meebrengt en foutloos is, groeit de gesimuleerde menselijke economie enorm. **Figuur 4-8**, scenario 0, laat zien wat er gebeurt.

FIGUUR 4-8 Scenario 0: oneindig in, oneindig uit

Als alle fysieke beperkingen van het World3-systeem worden opgeheven, bereikt de bevolking een piek van bijna 9 miljard en begint een langzame daling in een demografische transitie. De economie groeit totdat zij in het jaar 2080 zoveel produceert als in het jaar 2000, terwijl zij dezelfde jaarlijkse hoeveelheid niet-hernieuwbare hulpbronnen gebruikt en slechts een achtste van de jaarlijkse vervuiling produceert.



Scenario 0

=====

Hoe World 3-scenario's te lezen

In de hoofdstukken 4, 6 en 7 van dit boek laten we 11 verschillende “computersimulaties” zien, oftewel scenario's die met World3 zijn gegenereerd. Elke simulatie is gemaakt met dezelfde World3-modelstructuur. Maar in elk scenario veranderen we een paar getallen om verschillende schattingen van ‘realistische’ parameters te testen, om optimistischere voorspellingen over de ontwikkeling van technologieën op te nemen, of om te zien wat er gebeurt als de wereld voor andere beleidsmaatregelen, ethische normen of doelstellingen kiest.

Wanneer we de veranderingen hebben aangebracht die we in de nieuwe run willen testen, geven we World3 de opdracht om de interacties tussen de meer dan 200 vergelijkingen opnieuw te berekenen, aangezien deze elkaar in de loop van de tijd beïnvloeden. De computer berekent elke zes maanden een nieuwe waarde voor elke variabele in gesimuleerde tijd van het jaar 1900 tot het jaar 2100. Het model produceert meer dan 80.000 getallen voor elk scenario. Er is geen reden om al deze informatie hier weer te geven. Weinig van de afzonderlijke getallen hebben op zichzelf enige betekenis. Daarom hebben we een enorme vereenvoudiging aangebracht, zowel om de resultaten van het model zelf te begrijpen als om ze aan u over te brengen.

We vereenvoudigen door de waarden van enkele belangrijke variabelen, zoals bevolking, vervuiling en natuurlijke hulpbronnen, in tijdgrafieken weer te geven. Voor dit boek geven we drie van dergelijke grafieken voor elk scenario. De indeling is voor elk scenario hetzelfde. De grafiek linksboven, ‘Staat van de wereld’ genoemd, toont de wereldwijde totalen voor:

1. Bevolking.
2. Voedselproductie.
3. Industriële productie.

4. Relatief niveau van vervuiling.
5. Resterende niet-hernieuwbare hulpbronnen.

De middelste grafiek, 'Materiële levensstandaard', toont de gemiddelde wereldwijde waarden voor:

6. Voedselproductie per persoon.
7. Diensten per persoon.
8. Gemiddelde levensverwachting.
9. Consumptiegoederen per persoon.

De onderste grafiek, 'Menselijk welzijn en voetafdruk', toont waarden voor twee wereldwijde indicatoren:

10. Ecologische voetafdruk van de mens.
11. Index van menselijk welzijn.

Alle verticale schalen beginnen bij nul. Om de vergelijking te vergemakkelijken, hebben we de verticale schaal voor elke variabele voor alle runs identiek gehouden. We hebben echter de numerieke waarden voor de verticale schalen voor de variabelen weggelaten, aangezien hun precieze waarden op elk punt in de gesimuleerde tijd niet zinvol zijn. Merk bovendien op dat variabelen in dezelfde grafiek elk op verschillende schalen met verschillende eenheden zijn uitgezet. De schaal voor voedsel per hoofd van de bevolking loopt bijvoorbeeld van 0 tot 1000 kilogram graanequivalenten per persoon per jaar, terwijl de schaal voor de levensverwachting loopt van 0 tot 90 jaar.

Aangezien de numerieke waarden niet significant zijn, moet u zich concentreren op hoe de vormen van de curven veranderen van het ene scenario naar het andere. Merk echter op dat we in scenario's die een ineenstorting weergeven, geen betekenis toekennen aan het gedrag van de curven voorbij het punt waar-

op ze hun hoogtepunt bereiken en beginnen te dalen. Elk scenario wordt volledig weergegeven tot het jaar 2100. We beschrijven echter niet het gedrag van modelementen na het punt waarop een belangrijke factor begint in te storten. Het is duidelijk dat een ineenstorting van de bevolking of de industrie in de “echte wereld” veel belangrijke relaties zou veranderen en daarmee veel van de aannames die we in het model hebben ingebouwd, ongeldig zou maken.

Elke keer dat we een scenario genereren, maakt de computer een gedetailleerde gegevenstabel met de numerieke waarde van elke modelvariabele per zes maanden tussen het jaar 1900 en het jaar 2100. Deze tabellen leveren ons enorme hoeveelheden zeer gedetailleerde gegevens op. Uit de tabel bij scenario 0 zien we bijvoorbeeld dat de wereldbevolking in modeljaar 2065,0 een maximumwaarde van 8.876.186.000 bereikt. De index van aanhoudende vervuiling stijgt in dit scenario van een waarde van 3,150530 in het jaar 2000 tot een maximale waarde van 6,830552 in modeljaar 2026,5 – een stijging met een factor 2,1680 in die periode. Maar de meeste van deze cijfers bevatten geen bruikbare informatie. Geen enkel toekomstig getal of datum dat door onze World3 wordt geproduceerd, rechtvaardigt een weergave met een nauwkeurigheid van vijf cijfers. Vergeet niet dat we geïnteresseerd zijn in de grote lijnen. We letten op een paar belangrijke variabelen en stellen slechts een paar belangrijke vragen. Welke variabelen stoppen met groeien in de komende eeuw? Hoe snel groeien of dalen ze? Wat zijn de belangrijkste factoren die dit gedrag veroorzaken? Leiden de aannames in een scenario ertoe dat een variabele sneller of langzamer groeit, of een hogere of lagere piek bereikt? Welke beleidswijzigingen zouden een gunstiger resultaat kunnen opleveren?

Wanneer we u de antwoorden op deze vragen per scenario geven, zullen we de computerrapporten sterk vereenvoudigen door twee regels toe te passen. Het tijdstip van een maximum of minimum wordt alleen aangegeven tot op het einde van het dichtstbijzijnde decennium (we ronden 5,0 naar boven af naar het dichtstbijzijnde tiental) – bijvoorbeeld niet 2016, 2032,5 of

2035, maar 2020, 2030 of 2040. Elke waarde van een specifieke parameter en elke verhouding tussen twee numerieke waarden wordt slechts tot op het dichtstbijzijnde significante cijfer aangegeven. Daarom zouden we u de bovenstaande informatie over scenario 0 rapporteren met de volgende verklaring: "De wereldbevolking bereikt een maximumwaarde van negen miljard in modeljaar 2070. De index van aanhoudende vervuiling stijgt in dit scenario van een waarde van drie in het jaar 2000 tot een maximale waarde van zeven in modeljaar 2030, een verdubbeling in die periode." Deze regels lijken soms kleine inconsistenties op te leveren. Laat u hierdoor niet afleiden; ze zijn het gevolg van afrondingsfouten en hebben geen invloed op de belangrijkste lessen die we uit het model trekken.

=====

De computeruitvoering in figuur 4-8, scenario 0, is geproduceerd door World3 nadat we de cijfers hadden aangepast aan de volgende aannames:

- De hoeveelheid niet-hernieuwbare hulpbronnen die nodig is om een eenheid industriële output te produceren, daalt exponentieel zonder limiet met 5 procent per jaar, waarbij deze elke 15 jaar met 50 procent daalt zolang de samenleving streeft naar verbetering van haar hulpbronnenefficiëntie. [180]
- De hoeveelheid vervuiling die per eenheid industriële productie wordt gegenereerd, daalt exponentieel zonder beperking met 5 procent per jaar, indien gewenst.
- De landbouwopbrengst per eenheid industriële input stijgt exponentieel zonder beperking met 5 procent per jaar en verdubbelt elke 15 jaar, zolang de samenleving ernaar streeft haar voedselproductie te verhogen.
- Al deze technische verworvenheden zijn wereldwijd ef-

fectief zonder extra kapitaalkosten en met een implementatievertraging van slechts 2 jaar (in plaats van 20 in het oorspronkelijke model), zodra de samenleving heeft besloten dat dergelijke technologie gewenst is.

- Menselijke nederzettingen dringen een kwart minder snel door op landbouwgrond dan normaal wordt aangenomen in World3, en mensen ondervinden geen negatieve effecten op hun levensverwachting als gevolg van overbevolking.
- De landbouwproductie wordt niet langer significant verminderd door vervuiling.

In dit scenario vertraagt de bevolkingsgroei, stabiliseert zich op bijna negen miljard en neemt vervolgens geleidelijk af, omdat de hele wereldbevolking rijk genoeg wordt om de demografische transitie te ervaren. De gemiddelde levensverwachting stabiliseert zich wereldwijd rond de 80 jaar. De gemiddelde landbouwopbrengst stijgt tegen het jaar 2080 tot bijna zes keer de waarde van het jaar 2000. De industriële productie stijgt tot boven de grafiek en wordt uiteindelijk op een zeer hoog niveau gestopt door een ernstig tekort aan arbeidskrachten, omdat er 40 keer zoveel industrieel kapitaal moet worden beheerd en geëxploiteerd als in het jaar 2000, maar slechts 1,5 keer zoveel mensen. (We zouden zelfs die beperking kunnen wegnemen door uit te gaan van een voldoende snelle exponentiële stijging van het vermogen van de arbeid om kapitaal te gebruiken.)

In het gesimuleerde jaar 2080 produceert de wereldeconomie 30 keer zoveel industriële output en 6 keer zoveel voed-

sel als in 2000. Om deze resultaten te bereiken heeft zij in de eerste acht decennia van de eenentwintigste eeuw bijna 40 keer zoveel industrieel kapitaal opgebouwd als in de hele twintigste eeuw. Terwijl die kapitaalgroei wordt gerealiseerd, vermindert de wereld in figuur 4-8 het gebruik van niet-hernieuwbare hulpbronnen licht en verlaagt zij haar vervuilende uitstoot met een factor acht ten opzichte van het jaar 2000. Het welzijn van de mensheid stijgt tussen 2000 en 2080 met 25 procent en de ecologische voetafdruk daalt met 40 procent. Aan het einde van het scenario, in het jaar 2100, ligt de voetafdruk weer veilig onder het duurzame niveau.

[181] Sommige mensen geloven in dit soort scenario's, verwachten ze en verheugen zich erop. We kennen verhalen over opmerkelijke efficiëntieverbeteringen in bepaalde landen, economische sectoren of industriële processen. We hebben veel van deze verhalen in hoofdstuk 3 genoemd. We hopen en geloven dat verdere efficiëntieverbeteringen mogelijk zijn, zelfs verbeteringen die 100 keer zo groot zijn. Maar de gegevens in hoofdstuk 3 geven geen aanwijzingen dat de hele wereldeconomie zo snel zulke winst kan boeken. Als niets anders zulke snelle veranderingen zou verhinderen, maken de levensduur van kapitaalgoederen – de tijd die nodig is om het wagenpark, het gebouwenbestand en de geïnstalleerde machines van de wereldeconomie te vervangen of aan te passen – en het vermogen van het bestaande kapitaal om zo snel zoveel nieuw kapitaal te produceren, dit “dematerialisatiescenario” voor ons ongeloofwaardig. De moeilijkheden om dit oneindigheidsscenario te realiseren zouden

in het ‘echte leven’ nog worden vergroot door de vele politieke en bureaucratische beperkingen die verhinderen dat het prijssysteem aangeeft dat de benodigde technologieën winstgevend kunnen zijn.

We nemen deze berekening hier niet op omdat we denken dat ze een geloofwaardige toekomst van de ‘echte wereld’ laat zien, maar omdat we denken dat ze iets zegt over World3 en over modellering.

Het laat zien dat World3 in zijn structuur een zelfbeperkende beperking op de bevolking heeft ingebouwd en geen zelfbeperkende beperking op kapitaal. Het model is zo opgezet dat de wereldbevolking uiteindelijk zal afvlakken en beginnen te dalen als de industriële productie per hoofd van de bevolking hoog genoeg stijgt. Maar we zien weinig bewijs in de ‘echte wereld’ dat de rijkste mensen of landen ooit hun interesse in nog rijker worden verliezen. Daarom gaan de beleidsmaatregelen in World3 ervan uit dat kapitaalbezitters voor onbepaalde tijd zullen blijven streven naar meer rijkdom en dat consumenten altijd hun consumptie zullen willen verhogen. Deze aannames kunnen en zullen worden gewijzigd in de beleidsmaatregelen die in hoofdstuk 7 worden gepresenteerd.

Figuur 4-8 illustreert ook een van de bekendste principes van modellering: *Rommel In, Rommel Out*, of RIRI – GIGO – . Als je onrealistische aannames in je model stopt, krijg je onrealistische resultaten. De computer zal u de logische gevolgen van uw aannames laten zien, maar hij zal u niet vertellen of uw aannames juist zijn. Als u ervan uitgaat dat de economie de industriële kapitaalaccumulatie met een factor

40 kan vergroten, dat fysieke grenzen niet langer gelden en dat technische veranderingen in slechts twee jaar tijd zonder kosten in de hele mondiale kapitaalstructuur kunnen worden doorgevoerd, zal World3 u vrijwel onbeperkte economische groei laten zien, samen met een afnemende ecologische voetafdruk. [182] De belangrijke vraag bij deze en elke andere computersimulatie is of u de uitgangspunten gelooft.

Wij geloven niet in de aannames achter figuur 4-8. Wij beschouwen dit als een scenario dat een onmogelijke technologische utopie weergeeft. Daarom noemen we deze simulatie Infinity In, Infinity Out, of IFI-IFO (uitgesproken als iffy-if-fo). Onder wat wij als meer “realistische” aannames beschouwen, begint het model het gedrag te vertonen van een groeiend systeem dat tegen fysieke grenzen aanloopt.

Beperkingen en vertragingen

Een groeiende fysieke entiteit zal alleen vertragen en vervolgens stoppen in een soepele aanpassing aan zijn beperkingen (S-vormige groei) als hij nauwkeurige, snelle signalen ontvangt die hem vertellen waar hij zich ten opzichte van zijn beperkingen bevindt, en alleen als hij snel en nauwkeurig op die signalen reageert (figuur 4-9b).

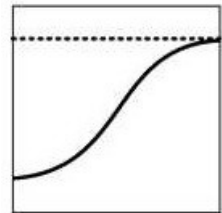


Fig. 9-4b

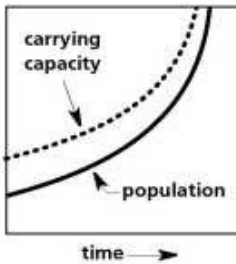
Stel dat u in een auto rijdt en voor u ziet u een stoplicht op rood springen. Normaal gesproken kunt u de auto vlak voor het stoplicht soepel tot stilstand brengen, omdat u een snel en nauwkeurig visueel signaal krijgt dat u vertelt waar het

stoplicht zich bevindt, omdat uw hersenen snel op dat signaal reageren, omdat uw voet snel beweegt wanneer u besluit om op de rem te trappen, en omdat de auto onmiddellijk op de rem reageert op een manier die u begrijpt door veelvuldige oefening.

Als uw kant van de voorruit beslagen was en u afhankelijk was van een passagier om u te vertellen waar het stoplicht was, zou de korte vertraging in de communicatie ertoe kunnen leiden dat u het stoplicht voorbijrijdt (tenzij u vaart mindert om de vertraging op te vangen). Als de passagier loog, of als u ontkende wat u hoorde, of als het twee minuten duurde voordat de remmen werkten, of als de weg glad was geworden, waardoor de auto onverwachts enkele honderden meters nodig had om te stoppen, zou u het stoplicht voorbijrijden.

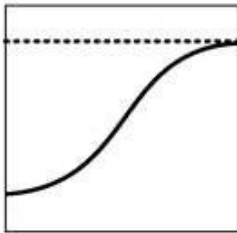
Een systeem kan geen nauwkeurig en ordelijk evenwicht bereiken met zijn limiet als het feedbacksignaal vertraagd of vervormd is, als dat signaal wordt genegeerd of ontkend, als er fouten worden gemaakt bij de aanpassing, of als het systeem pas na een vertraging kan reageren. Als een van deze omstandigheden zich voordoet, zal de groeiende entiteit zichzelf te laat corrigeren en te ver doorschieten (figuren 4-9c & d).

We hebben al enkele van de informatie- en reactietijdvertragingen in World3 beschreven. Een daarvan is de vertraging tussen het moment waarop een verontreinigende stof in de biosfeer terechtkomt en het moment waarop deze waarneembare schade toebrengt aan de menselijke gezondheid of de voedselvoorziening.



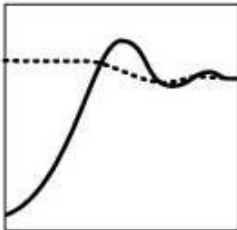
a) Continuous growth results if

- Physical limits are very far off, or
- Physical limits are themselves growing exponentially.



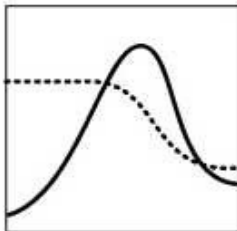
b) Sigmoid growth results if

- Signals from physical limits to economy are instant, accurate, and responded to immediately, or
- The population or economy limits itself without needing signals from external limits.



c) Overshoot and oscillation results if

- Signals or responses are delayed, and
- Limits are unerodable or are able to recover quickly from erosion.



d) Overshoot and collapse results if

- Signals or responses are delayed, and
- Limits are erodable (irreversibly degraded when exceeded).

FIGUUR 4-9 Structurele oorzaken van de vier mogelijke gedragspatronen van het World3-model

[184] Een voorbeeld hiervan is de vertraging van 10 tot 15 jaar voordat een chloorfluorkoolstofmolecuul dat op het aardoppervlak vrijkomt, de ozonlaag in de stratosfeer begint af te breken. Ook vertragingen in het beleid zijn van belang. Er zit vaak een vertraging van vele jaren tussen het moment waarop een probleem voor het eerst wordt waargenomen en het moment waarop alle belangrijke spelers het eens worden over een gemeenschappelijk actieplan. Deze vertragingen worden in het volgende hoofdstuk beschreven.

Een illustratie van deze vertragingen is de verspreiding van PCB's in het milieu. Sinds 1929 heeft de industrie ongeveer twee miljoen ton van de stabiele, olieachtige, niet-brandbare chemische stoffen geproduceerd die polychloorbifenylen of PCB's worden genoemd.^{Q8} Ze werden voornamelijk gebruikt om warmte af te voeren in elektrische condensatoren en transformatoren, maar ook als hydraulische vloeistof, smeermiddelen, brandvertragers en bestanddelen van verf, vernis, inkt, zelfkopiërend papier en pesticiden. Veertig jaar lang hebben gebruikers van deze chemicaliën ze op stortplaatsen, langs wegen, in riolen en waterlichamen gedumpt, zonder na te denken over de gevolgen voor het milieu. In een baanbrekend onderzoek in 1966, dat was opgezet om DDT in het milieu op te sporen, rapporteerde de Deense onderzoeker Soren Jensen dat hij naast DDT ook PCB's op grote schaal had aangetroffen.^{Q9} Sindsdien hebben andere onderzoekers PCB's in bijna alle ecosystemen van de wereld gevonden.

=====

PCB's komen in bijna alle componenten van het mondiale ecosysteem voor. De hydrosfeer is een belangrijke bron van PCB's in de atmosfeer.... PCB-residuen zijn ook aangetroffen in sedimenten in rivieren, meren en oceanen.... Een uitgebreid onderzoek naar het ecosysteem van de Grote Meren illustreert duidelijk de preferentiële bioconcentraties van PCB-residuen in de voedselketen.

Environment Canada, 1991

DDT en PCB's zijn de enige organochloorverbindingen die systematisch zijn gemonitord bij zeezoogdieren in het Noordpoolgebied.... De PCB-niveaus in de moedermelk van Inuit-vrouwen behoren tot de hoogste die ooit zijn gemeld.... Een hoge consumptie van vis en zeezoogdieren is waarschijnlijk de belangrijkste bron van PCB-opname.... Deze resultaten suggereren dat giftige stoffen zoals PCB's een rol kunnen spelen bij de aantasting van het immuunsysteem en het hoge aantal infecties onder Inuit-kinderen.

E. Dewailly, 1989

[In de Waddenzee voor de kust van Nederland] was het voortplantingssucces van de zeehonden die het voer met het hoogste gehalte aan [PCB's] kregen, aanzienlijk verminderd ... [wat aantoonde dat] het voortplantingsfalen bij gewone zeehonden verband houdt met het eten van vis uit dat verontreinigde gebied.... Deze bevindingen bevestigen de resultaten van experimenten met nertsen, waarbij PCB's de voortplanting verstoorde.

P.J.H. Reijnders, 1986

=====

[185] De meeste PCB's zijn relatief onoplosbaar in water, maar oplosbaar in vetten, en ze hebben een zeer lange levensduur in het milieu. Ze verplaatsen zich snel door de atmosfeer en langzaam door de bodem of sedimenten in beken en meren, totdat ze worden opgenomen in een of andere levensvorm, waar ze zich ophopen in vetweefsel en in concentratie toenemen naarmate ze hoger in de voedselketen komen. Ze worden in de hoogste concentraties aangetroffen in vleesetende vissen, zeevogels en zoogdieren, menselijk vet en moedermelk.

De gevolgen van PCB's voor de gezondheid van mensen en andere dieren komen slechts langzaam aan het licht. Het is bijzonder moeilijk om hierin duidelijkheid te krijgen, omdat PCB's een mengsel zijn van 209 nauw verwante verbindingen, die elk verschillende effecten kunnen hebben. Niettemin wordt steeds duidelijker dat sommige PCB's als hormoonontregelaars werken. Ze bootsen de werking van sommige hormonen na, zoals oestrogeen, en blokkeren de werking van andere, zoals schildklierhormonen. Het effect bij vogels, walvissen, ijsberen, mensen en alle dieren met een hormoonstelsel is dat de delicate signalen die de stofwisseling en het gedrag regelen, worden verstoord. Vooral bij zich ontwikkelende embryo's kunnen zelfs minuscule concentraties hormoonontregelaars grote schade aanrichten. Ze kunnen het zich ontwikkelende organisme direct doden of het zenuwstelsel, de intelligentie of de geslachtsfunctie aantasten.^{Q102}

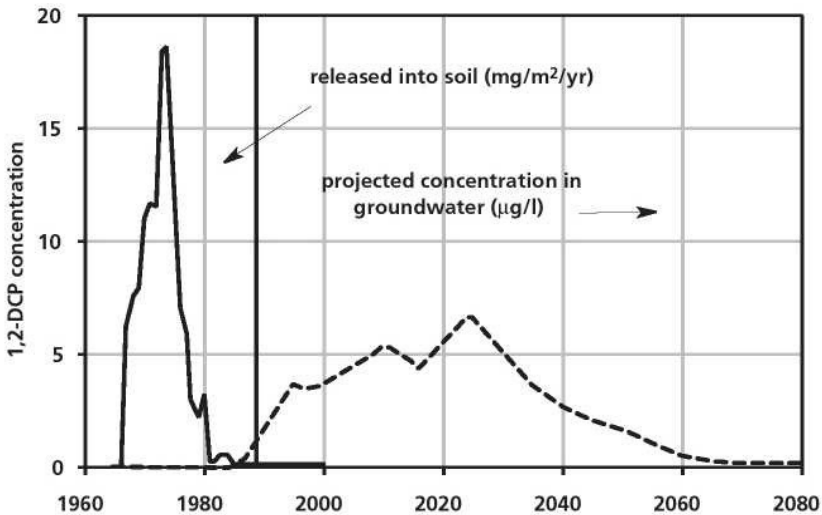
2 Voor een populaire en uitgebreide beschrijving van het verhaal over hormoonontregelaars, zie Theo Colborn, Dianne Dumanoski en John P. Myers, *Our Stolen Future* (New York: Dutton, 1996). [Boekwinkeltje](#)

Omdat ze langzaam migreren, zeer lang blijven bestaan en zich in hogere niveaus van de voedselketen ophopen, worden PCB's een “*biologische tijdbom*” genoemd. Hoewel de productie en het gebruik van PCB's sinds de jaren zeventig in veel landen verboden zijn,^{Q11} bestaat er nog steeds een enorme voorraad. Van de totale hoeveelheid PCB's die ooit is geproduceerd, is een groot deel nog steeds in gebruik of opgeslagen in afgedankte elektrische apparatuur. In landen met wetgeving voor gevaarlijk afval wordt een deel van deze oude PCB's begraven of vernietigd door gecontroleerde verbranding, waarbij de moleculaire structuur en daarmee de bioactiviteit wordt afgebroken. In 1989 werd geschat dat 30 procent van alle ooit geproduceerde PCB's al in het milieu was terechtgekomen. Slechts 1 procent was in de oceanen terechtgekomen. De 29 procent die nog niet was gevonden, was verspreid in de bodem, rivieren en meren, waar het nog tientallen jaren in levende wezens terecht zou komen.^{Q12}

Figuur 4-10 toont een ander voorbeeld van een vertraging in verontreiniging, namelijk het langzame transport van chemische stoffen via de bodem naar het grondwater. Van de jaren zestig tot 1990, toen het uiteindelijk werd verboden, werd het bodemontsmettingsmiddel 1,2-dichloorpropeen (DCPe) in Nederland op grote schaal gebruikt bij de teelt van aardappelen en bloembollen. Het bevat een verontreinigende stof, 1,2-dichloorpropaan (DCPa), die voor zover wetenschappers weten een oneindige levensduur heeft in het grondwater. Een berekening voor één stroomgebied schatte

ture on this subject.

dat het DCPa dat al in de bodem aanwezig was, pas na 2010 in het grondwater terecht zou komen en daar in significante concentraties zou verschijnen. Daarna zou het naar verwachting nog minstens een eeuw lang het grondwater verontreinigen in concentraties tot 50 keer de drinkwaternorm van de Europese Unie.



FIGUUR 4-10 De langzame verspreiding van 1,2-DCP in het grondwater

Het bodemontsmettingsmiddel DCP werd in de jaren zeventig veel gebruikt in Nederland, waarna het aan gebruikbeperkingen werd onderworpen en uiteindelijk in 1990 werd verboden. – in VS al in 1977 – Als gevolg daarvan is de concentratie van DCP in de bovenste lagen van landbouwgrond snel gedaald. In 1991 werd echter berekend dat de concentratie in het grondwater pas in 2020 een piek zal bereiken en dat er na het midden van de 21e eeuw nog steeds aanzienlijke hoeveelheden van de chemische stof in het water aanwezig zullen zijn. (Bron: N. L. van der Noot.)

Het probleem is niet uniek voor Nederland. In de Verenigde Staten werd het gebruik van DCP in de landbouw in 1977 verboden. Toch vond het Washington State Pesticide Monitoring Program de chemische stof in concentraties die schadelijk zijn voor de menselijke gezondheid toen het tussen 1988 en 1995 het grondwater op 243 locaties in 11 studiegebieden controleerde.^{Q13}

Een vertraging in een andere sector van World3 is te wijten aan de leeftijdsopbouw van de bevolking. Een bevolking met een recente geschiedenis van hoge geboortecijfers bevat veel meer jonge mensen dan oude mensen. Daarom blijft de bevolking, zelfs als de vruchtbaarheid daalt, nog tientallen jaren groeien, omdat de jongeren de vruchtbare leeftijd bereiken. Hoewel het aantal kinderen per gezin daalt, neemt het aantal gezinnen toe. Door dit “bevolkingsmomentum” zal de wereldbevolking, als de vruchtbaarheid van de hele wereldbevolking tegen 2010 het vervangingsniveau bereikt (gemiddeld ongeveer twee kinderen per gezin), blijven groeien tot 2060 en vervolgens stabiliseren op ongeveer acht miljard.

Er zijn nog veel meer vertragingen in het ‘echte’ systeem. Niet-hernieuwbare hulpbronnen kunnen generaties lang worden uitgeput voordat de uitputting ernstige economische gevolgen heeft. Industrieel kapitaal kan niet van de ene op de andere dag worden opgebouwd. Als het eenmaal in gebruik is genomen, heeft het een levensduur van tientallen jaren. Een olieraffinaderij kan niet gemakkelijk of snel worden omgebouwd tot een tractorfabriek of een ziekenhuis. Het kost zelfs tijd om er een efficiëntere, minder vervuilen-

de olieraffinaderij van te maken.

World3 kent veel vertragingen in zijn feedbackmechanismen, waaronder alle hierboven genoemde. We gaan ervan uit dat er een vertraging is tussen het vrijkomen van vervuiling en het merkbare effect ervan op het systeem. We gaan uit van een vertraging van ongeveer een generatie voordat paren volledig vertrouwen hebben in de veranderende kindersterftecijfers en hun beslissingen over de gezinsgrootte daarop aanpassen. In World3 duurt het normaal gesproken tientallen jaren voordat investeringen kunnen worden geherallocatie en nieuwe kapitaalgoederen kunnen worden gebouwd en volledig in gebruik kunnen worden genomen als reactie op een tekort aan voedsel of diensten. Het kost tijd voordat de vruchtbaarheid van de bodem is hersteld of vervuiling is geabsorbeerd.

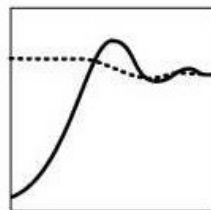
De eenvoudigste en meest onweerlegbare fysieke vertragingen zijn al voldoende om een vloeiende sigmoïde curve als waarschijnlijk gedrag voor het wereldwijde economische systeem uit te sluiten. Vanwege de vertragingen in de signalen van de grenzen van de natuur is overschrijding onvermijdelijk als er geen zelfopgelegde grenzen zijn. Maar die overschrijding kan in theorie leiden tot oscillatie of tot ineenstorting.

Overschrijding en oscillatie

Als de waarschuwingssignalen van de grenzen aan de groeiende entiteit worden vertraagd, of als de reactie wordt vertraagd, en als het milieu niet wordt aangetast wanneer

het overbelast is, dan zal de groeiende entiteit zijn grens een tijdje overschrijden, een correctie uitvoeren en vervolgens onder de grens komen, waarna hij weer overschrijdt, in een reeks oscillaties die meestal afzwakken tot een evenwicht binnen de grens (figuur 4-9c).

Overschrijding en oscillatie kunnen alleen optreden als het milieu tijdens periodes van overbelasting onbeduidende schade oploopt of zichzelf snel genoeg kan herstellen om volledig te herstellen tijdens periodes van onderbelasting.



Afb. 4-9c

Hernieuwbare hulpbronnen, zoals bossen, bodems, vis en hernieuwbaar grondwater, zijn erosiegevoelig, maar hebben ook een zelfherstellend vermogen. Ze kunnen zich herstellen van een periode van overmatig gebruik, zolang dit niet zo groot of langdurig is dat de schade aan de voedselbron, het broedbestand of de watervoerende laag verwoestend is. Met voldoende tijd, bodem, zaad en een geschikt klimaat kan een bos weer aangroeien. Een visbestand kan zich herstellen als zijn leefgebied en voedselvoorziening niet worden vernietigd. Bodems kunnen worden hersteld, vooral met actieve hulp van boeren. Ophopingen van vele soorten vervuiling kunnen worden verminderd als de natuurlijke absorptiemechanismen van het milieu niet ernstig zijn verstoord.

Daarom is het overschrijdings- en oscillatiegedrag een belangrijke mogelijkheid voor het wereldsysteem. Dit is in

sommige plaatsen voor sommige hulpbronnen aangetoond. New England heeft bijvoorbeeld meerdere keren periodes meegemaakt waarin er meer zagerijen werden gebouwd dan de bossen in de regio op duurzame wijze konden leveren. Telkens wanneer dat gebeurde, raakten de commerciële houtvoorraden uiteindelijk uitgeput, moesten zagerijen sluiten en moest de industrie tientallen jaren wachten tot het bos weer was aangegroeid en er weer te veel zagerijen konden worden gebouwd. De visserij aan de Noorse kust heeft minstens één cyclus van visuitputting doorgemaakt, waarbij de overheid vissersboten opkocht en uit de vaart nam totdat de visbestanden zich konden herstellen.

De neergangsfase van een overschrijding en oscillatie is geen prettige periode om mee te maken. Het kan moeilijke tijden betekenen voor industrieën die afhankelijk zijn van een uitgebuite hulpbron, of een slechte gezondheid voor bevolkingsgroepen die worden blootgesteld aan hoge verontreinigingsniveaus. Oscillaties kunnen het beste worden vermeden. Maar ze zijn meestal niet fataal voor een systeem.

Overschrijdingen kunnen catastrofaal worden wanneer de schade die ze veroorzaken onomkeerbaar is. Niets kan een uitgestorven soort terugbrengen. Fossiele brandstoffen worden permanent vernietigd door het gebruik ervan. Sommige verontreinigende stoffen, zoals radioactieve materialen, kunnen door geen enkel natuurlijk mechanisme onschadelijk worden gemaakt. Als het klimaat aanzienlijk verandert, wijzen geologische gegevens erop dat de temperatuur- en neerslagpatronen waarschijnlijk niet binnen een voor de mensheid relevante periode zullen terugkeren naar normaal. Zelfs

hernieuwbare hulpbronnen en processen voor het absorberen van verontreiniging kunnen door langdurig of systematisch misbruik definitief worden vernietigd. Wanneer tropische bossen worden gekapt op een manier die hergroei onmogelijk maakt, wanneer de zee zoetwatraquifers met zout doordrenkt, wanneer bodems wegspoelen en alleen de rotsbodem overblijft, wanneer de zuurgraad van de bodem zodanig verandert dat de opgeslagen zware metalen worden uitgespoeld, dan wordt het draagvermogen van de aarde definitief verminderd, of in ieder geval voor een periode die voor de mensheid definitief lijkt.

Daarom is de overschrijdings- en oscillatiemodus niet de enige die zich kan manifesteren wanneer de mensheid de grenzen van de groei nadert. Er is nog een andere mogelijkheid.

Overschrijding en ineenstorting

Als het signaal of de reactie van de grens vertraagd is en als het milieu onomkeerbaar is aangetast door overbelasting, dan zal de groeiende economie haar draagkracht overschrijden, haar hulpbronnenbasis aantasten en instorten (figuur 4-9d).

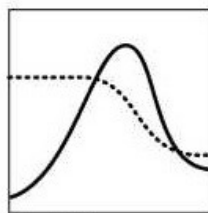


Fig. 4-9d

Het resultaat van overschrijding en ineenstorting is een permanent verarmd milieu en een materiële levensstandaard die veel lager is dan wat mogelijk zou zijn geweest als het milieu nooit overbelast was geweest.

Het verschil tussen overschrijding en oscillatie en over-

schrijding en ineenstorting is de aanwezigheid van erosielussen in een systeem. Dit zijn positieve feedbacklussen van de ergste soort. Normaal gesproken zijn ze inactief, maar wanneer een situatie verslechtert, maken ze deze nog erger door een systeem in een steeds sneller tempo naar beneden te halen.

Zo zijn graslanden over de hele wereld samen geëvolueerd met grazende dieren zoals buffels, antilopen, lama's of kangeroes. Wanneer grassen worden afgegraasd, onttrekken de overgebleven stengels en wortels meer water en voedingsstoffen aan de bodem en groeit er meer gras. Het aantal grazers wordt in toom gehouden door predatie, seizoensmigratie en ziekte. Het ecosysteem erodeert niet. [190] Maar als de roofdieren worden verwijderd, de migraties worden belemmerd of het land wordt overbevolkt, kan een overbevolking van grazers het gras tot aan de wortels afgrazen. Dat kan snelle erosie veroorzaken.

Hoe minder vegetatie er is, hoe minder bedekking er is voor de bodem. Door het verlies van bedekking begint de bodem weg te waaien in de wind of weg te spoelen in de regen. Hoe minder bodem er is, hoe minder vegetatie er kan groeien. Door het verlies van vegetatie kan nog meer bodem eroderen. En zo verder. De vruchtbaarheid van de bodem neemt af totdat het graasgebied een woestijn is geworden.

Er zijn verschillende erosielussen in World3. Bijvoorbeeld:

- Als mensen meer honger krijgen, bewerken ze het land intensiever. Dit levert op korte termijn meer voedsel op, maar gaat ten koste van investeringen in bodemonderhoud op de lange termijn. Door de lagere bodemvruchtbaarheid

daalt de voedselproductie vervolgens nog verder.

- Wanneer er problemen ontstaan die meer industriële productie vereisen – bijvoorbeeld vervuiling die bestrijdingsmiddelen vereist, of honger die meer landbouwinputs vereist, of een tekort aan hulpbronnen dat de ontdekking en verwerking van nieuwe hulpbronnen stimuleert – kunnen beschikbare investeringen worden besteed aan het oplossen van het acute probleem, in plaats van aan het in stand houden van het bestaande industriële kapitaal tegen waardevermindering. Als het bestaande industriële kapitaal begint af te nemen, komt er in de toekomst nog minder industriële productie beschikbaar. Een daling van de productie kan leiden tot verder uitstel van onderhoud en een verdere afname van het industriële kapitaal.
- In een verzwakkende economie kan de dienstverlening per hoofd van de bevolking afnemen. Lagere uitgaven voor gezinsplanning kunnen uiteindelijk leiden tot een stijging van het geboortecijfer. Dit leidt tot een bevolkingsgroei, waardoor de dienstverlening per hoofd van de bevolking nog verder daalt.
- Als de vervuiling te sterk toeneemt, kan dit de mechanismen voor de opname van vervuiling zelf aantasten, waardoor de snelheid waarmee vervuiling wordt geassimileerd afneemt en de snelheid waarmee vervuiling zich ophoopt nog verder toeneemt.

Dit laatste erosieve mechanisme, de aantasting van de natuurlijke mechanismen voor de assimilatie van vervuiling, is bijzonder verraderlijk. Het is een fenomeen waarvoor we

weinig bewijs hadden toen we World3 meer dan 30 jaar geleden voor het eerst ontwierpen. [191] Destijds dachten we aan interacties zoals het lozen van pesticiden in waterlichamen, waardoor de organismen die normaal gesproken organisch afval opruimen, worden gedood, of het uitstoten van zowel stikstofoxiden als vluchtige organische chemicaliën in de lucht, die met elkaar reageren en zo schadelijkere fotochemische smog vormen.

Sindsdien zijn er andere voorbeelden aan het licht gekomen van de aantasting van de mechanismen van de aarde voor de bestrijding van vervuiling. Een daarvan is het kennelijke vermogen van kortstondige luchtverontreinigende stoffen, zoals koolmonoxide, om hydroxylradicalen in de lucht af te breken. Deze hydroxylradicalen reageren normaal gesproken met het broeikasgas methaan en breken dit af. Wanneer luchtverontreiniging deze radicalen uit de atmosfeer verwijdt, neemt de methaanconcentratie toe. Door een mechanisme voor het opruimen van verontreiniging te vernietigen, kan kortstondige luchtverontreiniging de klimaatverandering op lange termijn verergeren.^{Q14}

Een ander voorbeeld is het vermogen van luchtverontreinigende stoffen om bossen te verzwakken of te doden, waardoor een opslagplaats voor het broeikasgas kooldioxide verdwijnt. Een derde voorbeeld is het effect van verzuring – door meststoffen of industriële emissies – op de bodem. Bij een normale zuurgraad absorbeert de bodem verontreinigende stoffen. Deze stoffen binden zich aan giftige metalen en slaan ze op, waardoor ze niet in beken en grondwater terecht komen en dus ook niet in levende organismen. Onder

zure omstandigheden worden deze bindingen echter verbroken. W. M. Stigliani beschreef dit proces in 1991.

Naarmate de bodem verzuurt, kunnen giftige zware metalen die zich gedurende lange tijd (bijvoorbeeld tientallen tot honderd jaar) hebben opgehoopt en opgeslagen, vrijkomen en snel in het grond- en oppervlaktewater terechtkomen of door planten worden opgenomen. De voortschrijdende verzuring van de Europese bodem als gevolg van zure neerslag is duidelijk een bron van grote zorg met betrekking tot de uitspoeling van zware metalen.^{Q15}

Naast de voorbeelden die we in World3 hebben opgenomen, zijn er in de “echte wereld” nog veel andere positieve feedbackloops die tot snelle erosie kunnen leiden. We hebben het gehad over de kans op erosie in fysieke en biologische systemen. Een heel ander voorbeeld is het uiteenvallen van de sociale orde. Als de elite van een land vindt dat grote verschillen in welvaart binnen het land acceptabel zijn, kan ze haar macht gebruiken om grote inkomensverschillen tussen zichzelf en het grootste deel van de bevolking te creëren. Deze ongelijkheid kan leiden tot frustratie, woede en protesten onder de middenklasse. [192] De onrust die hieruit voortvloeit, kan leiden tot onderdrukking. Het gebruik van geweld isoleert de elite nog verder van de massa en versterkt bij de machthebbers de ethiek en waarden die grote verschillen tussen hen en de meerderheid van de bevolking rechtvaardigen. De inkomensverschillen nemen toe, de woede en frustratie groeien, en dit kan tot nog meer onderdrukking leiden. Uiteindelijk kan er een revolutie of een ineen-

storting plaatsvinden.

Het is moeilijk om erosieve mechanismen te kwantificeren, omdat erosie een fenomeen is dat het hele systeem betreft en te maken heeft met interacties tussen meerdere krachten. Het treedt alleen op in tijden van stress. Tegen de tijd dat het duidelijk wordt, is het niet gemakkelijk meer te stoppen. Maar ondanks deze onzekerheden kunnen we met zekerheid zeggen dat elk systeem dat een latent erosieproces bevat, ook de mogelijkheid van ineenstorting in zich draagt, als het te zwaar wordt belast.

Op lokale schaal zijn overschrijding en ineenstorting te zien in processen als woestijnvorming, uitputting van minerale grondstoffen of grondwater, vergiftiging van landbouwgrond of bosgrond door langlevende giftige afvalstoffen en het uitsterven van soorten. Verlaten boerderijen, verlaten mijnstadjes en verlaten industriële stortplaatsen getuigen allemaal van de ‘realiteit’ van dit systeemgedrag. Op wereldschaal kunnen overschrijding en instorting leiden tot het uiteenvallen van de grote ondersteunende cycli van de natuur die het klimaat reguleren, lucht en water zuiveren, biomassa regenereren, de biodiversiteit in stand houden en afvalstoffen omzetten in voedingsstoffen. Toen we onze resultaten in 1972 voor het eerst publiceerden, vond de meerderheid van de mensen het ondenkbaar dat de mens op wereldschaal natuurlijke processen zou verstoren. Nu is het onderwerp van krantenkoppen, het middelpunt van wetenschappelijke bijeenkomsten en het onderwerp van internationale onderhandelingen.^{Q16}

World3: twee mogelijke scenario's

In de gesimuleerde wereld van World3 is groei het primaire doel. De bevolking van World3 zal pas stoppen met groeien als ze zeer rijk is. De economie zal pas stoppen met groeien als ze tegen haar grenzen aanloopt. De hulpbronnen nemen af en verslechteren door overmatig gebruik. De feedback-loops die de beslissingen met elkaar verbinden en beïnvloeden, bevatten aanzienlijke vertragingen en de fysieke processen hebben een aanzienlijke dynamiek. Het is dan ook niet verwonderlijk dat het meest waarschijnlijke gedrag van de modelwereld overschrijding en ineenstorting is.

[193] De grafieken in **figuur 4-11**, scenario 1, tonen het gedrag van World3 wanneer het ‘zoals het is’ wordt uitgevoerd, met cijfers die wij beschouwen als een ‘realistische’ beschrijving van de situatie zoals die zich gemiddeld voerdeed in de tweede helft van de twintigste eeuw, zonder ongebruikelijke technische of beleidsmatige aannames. In 1972 noemden we dit de ‘standaardrun’. We beschouwden dit niet als de meest waarschijnlijke toekomst en we hebben het zeker niet als een voorspelling gepresenteerd. Het was slechts een uitgangspunt, een basis voor vergelijking. Maar veel mensen hechtten meer belang aan de ‘standaardrun’ dan aan de scenario's die volgden. Om te voorkomen dat dit opnieuw gebeurt, noemen we het gewoon ‘een referentiepunt’ en verwijzen we naar elk scenario met een nummer; dit is scenario 1.

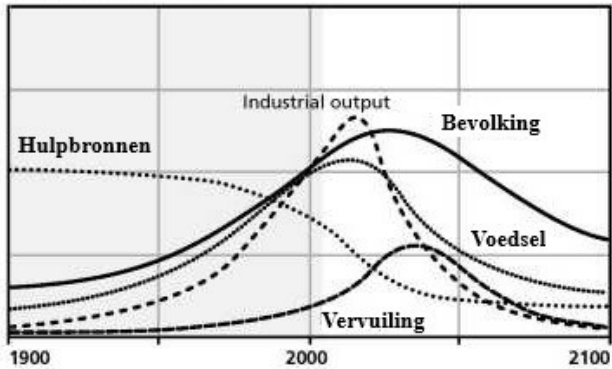
In scenario 1 volgt de samenleving zo lang mogelijk een zeer traditioneel pad zonder ingrijpende beleidswijzigingen. Het volgt de grote lijnen van de geschiedenis zoals we die

kennen uit de twintigste eeuw. De productie van voedsel, industriële goederen en sociale diensten neemt toe in reactie op duidelijke behoeften en afhankelijk van de beschikbaarheid van kapitaal. Er worden geen buitengewone inspanningen geleverd, die verder gaan dan wat op korte termijn economisch zinvol is, om vervuiling tegen te gaan, hulpbronnen te behouden of het land te beschermen. Deze gesimuleerde wereld probeert alle mensen door de demografische transitie heen te loodsen en naar een welvarende industriële economie te leiden. In scenario 1 krijgt de wereld wereldwijde gezondheidszorg en geboortebeporing naarmate de dienstensector groeit; er worden meer landbouwinputs gebruikt en hogere opbrengsten behaald naarmate de landbouwsector groeit; er worden meer verontreinigende stoffen uitgestoten, er is meer vraag naar niet-hernieuwbare hulpbronnen en de productiekraft neemt toe naarmate de industriële sector groeit.

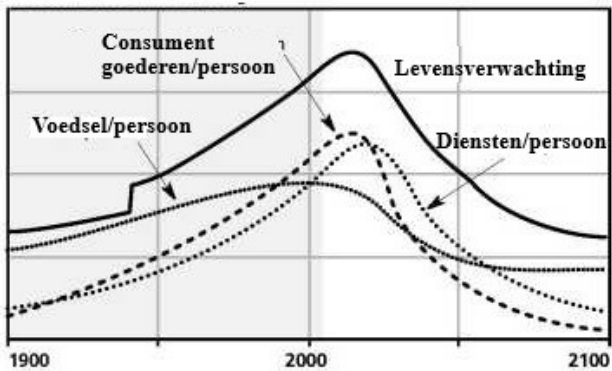
FIGUUR 4-11 Scenario 1 : Een referentiepunt

De wereldmaatschappij ontwikkelt zich op traditionele wijze, zonder grote afwijkingen van het beleid dat gedurende het grootste deel van de twintigste eeuw is gevoerd. De bevolking en de productie nemen toe totdat de groei wordt afgeremd door steeds moeilijker toegankelijke niet-hernieuwbare hulpbronnen. Er zijn steeds meer investeringen nodig om de hulpbronnenstromen op peil te houden. Uiteindelijk leidt het gebrek aan investeringsmiddelen in de andere sectoren van de economie tot een daling van de productie van zowel industriële goederen als diensten. Als gevolg daarvan worden de voedselvoorziening en de gezondheidszorg teruggeschroefd, waardoor de levensverwachting daalt en het gemiddelde sterftcijfer stijgt.

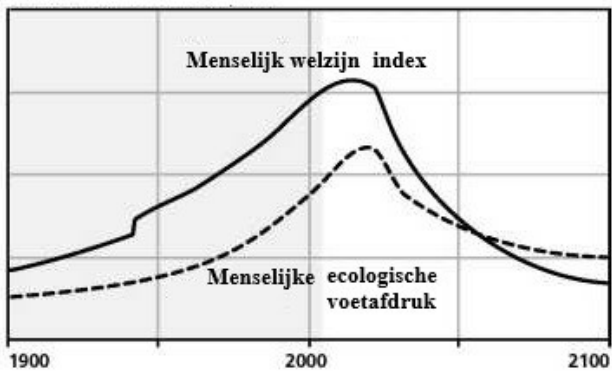
Staat van de Wereld



Materiale levensstandaard



Menselijke ecologische voetafdruk



Scenario 1



De bevolking in scenario 1 stijgt van 1,6 miljard in het gesimuleerde jaar 1900 tot 6 miljard in het jaar 2000 en tot meer dan 7 miljard in 2030. De totale industriële productie neemt tussen 1900 en 2000 met een factor 30 toe en vervolgens met nog eens 10 procent in 2020. Tussen 1900 en 2000 wordt slechts ongeveer 30 procent van de totale voorraad niet-hernieuwbare hulpbronnen op aarde gebruikt; meer dan 70 procent van deze hulpbronnen blijft in 2000 beschikbaar. [195] De vervuiling in het gesimuleerde jaar 2000 begint net aanzienlijk toe te nemen, tot 50 procent boven het niveau van 1990. De consumptiegoederen per hoofd van de bevolking zijn in 2000 15 procent hoger dan in 1990 en bijna acht keer hoger dan in 1900.^{Q17}

Als u de rechterhelft van de grafieken in scenario 1 afdekt, zodat u alleen de curven tot het jaar 2000 kunt zien, ziet de gesimuleerde wereld er zeer succesvol uit. De levensverwachting stijgt, de dienstverlening en goederen per hoofd van de bevolking nemen toe, de totale voedselproductie en industriële productie stijgen. Het gemiddelde welzijn van de mens neemt voortdurend toe. Er zijn wel enkele wolken aan de horizon: de vervuiling neemt toe, evenals de ecologische voetafdruk van de mens. De voedselproductie per persoon stagneert. Maar over het algemeen groeit het systeem nog steeds, met weinig aanwijzingen voor de grote veranderingen die op komst zijn.

Dan, plotseling, enkele decennia na het begin van de eenentwintigste eeuw, stopt de economische groei en keert deze vrij abrupt om. Deze onderbreking van de groeitrends uit het verleden wordt voornamelijk veroorzaakt door de snel stij-

gende kosten van niet-hernieuwbare hulpbronnen. Deze kostenstijging werkt door in de verschillende economische sectoren in de vorm van steeds schaarser wordende investeringsmiddelen. Laten we dit proces eens volgen.

In het gesimuleerde jaar 2000 zouden de niet-hernieuwbare hulpbronnen die nog in de grond aanwezig waren, bij het verbruik van dat jaar nog 60 jaar meegaan. Er zijn dan nog geen ernstige beperkingen van de hulpbronnen zichtbaar. Maar in 2020 zijn de resterende hulpbronnen nog maar goed voor 30 jaar. Waarom ontstaat dit tekort zo snel? Dat komt doordat de groei van de industriële productie en de bevolking het verbruik van hulpbronnen doet stijgen en de hulpbronnenvoorraad doet slinken. Tussen 2000 en 2020 groeit de bevolking met 20 procent en de industriële productie met 30 procent. In scenario 1 verbruiken de groeiende bevolking en de industrie in die twee decennia bijna evenveel niet-hernieuwbare hulpbronnen als de wereldeconomie in de hele eeuw daarvoor! Uiteraard is er dan meer kapitaal nodig om de resterende niet-hernieuwbare hulpbronnen te vinden, te winnen en te raffineren in een voortdurende poging van de gesimuleerde wereld om verdere groei te stimuleren.

Naarmate niet-hernieuwbare hulpbronnen in scenario 1 moeilijker te verkrijgen worden, wordt kapitaal omgeleid naar de productie ervan. Daardoor blijft er minder industriële productie over om te investeren in het op peil houden van de hoge landbouwproductie en verdere industriële groei. En uiteindelijk, rond 2020, houden de investeringen in industrieel kapitaal geen gelijke tred meer met de afschrijvingen.

(Het gaat hier om fysieke investeringen en afschrijvingen, met andere woorden slijtage en veroudering, niet om monetair afschrijvingen in de boekhouding.) [196] Het resultaat is een industriële achteruitgang, die in deze situatie moeilijk te vermijden is, aangezien de economie niet kan stoppen met het investeren van kapitaal in de grondstoffensector. Als dat wel zou gebeuren, zou de schaarste aan materialen en brandstoffen de industriële productie nog sneller beperken.

Onderhoud en instandhouding worden dus uitgesteld, de industriële installaties beginnen te verouderen en daarmee daalt ook de productie van de verschillende industriële output die nodig is om de groeiende kapitaalvoorraden en productieniveaus in de andere sectoren van de economie op peil te houden. Uiteindelijk dwingt de krimpende industriële sector de dienstensector en de landbouw, die afhankelijk zijn van industriële inputs, tot krimp. De krimp van de industrie heeft een bijzonder ernstige impact op de landbouw in scenario 1, aangezien de bodemvruchtbaarheid al enigszins is aangetast door overgebruik vóór het jaar 2000. Bijgevolg wordt de voedselproductie voornamelijk in stand gehouden door deze achteruitgang te compenseren met industriële inputs zoals meststoffen, pesticiden en irrigatieapparatuur. Na verloop van tijd wordt de situatie steeds ernstiger, omdat de bevolking blijft groeien als gevolg van vertragingen die inherent zijn aan de leeftijdsopbouw en het proces van sociale aanpassing aan vruchtbaarheidsnormen. Uiteindelijk, rond het jaar 2030, bereikt de bevolking een piek en begint ze te dalen doordat het sterftecijfer stijgt als gevolg van een gebrek aan voedsel en gezondheidszorg. De gemiddelde le-

vensverwachting, die in 2010 nog 80 jaar was, begint te dalen.

Dit scenario schetst een “crisis van niet-hernieuwbare hulpbronnen”. Het is geen voorspelling. Het is niet bedoeld om precieze waarden van de modelvariabelen of het exacte tijdstip van gebeurtenissen te voorspellen. Wij geloven niet dat dit het meest waarschijnlijke “reële” resultaat is. We zullen zo dadelijk een andere mogelijkheid laten zien, en nog veel meer in hoofdstuk 6 en 7. Het sterkste wat we over scenario 1 kunnen zeggen, is dat het een waarschijnlijk algemeen gedragspatroon van het systeem weergeeft, als het beleid dat de economische groei en de bevolking groei in de toekomst beïnvloedt, vergelijkbaar is met het beleid dat in het laatste deel van de twintigste eeuw gangbaar was, als de technologieën en waarden zich op een voor die periode representatieve manier blijven ontwikkelen, en als de onzekere cijfers in het model grofweg kloppen.

Wat als onze aannames en cijfers niet kloppen? Wat zou het verschil zijn als er bijvoorbeeld twee keer zoveel niet-hernieuwbare hulpbronnen in de grond zouden liggen als we in scenario 1 hebben aangenomen? Die test wordt weergegeven in **figuur 4-12**, scenario 2.

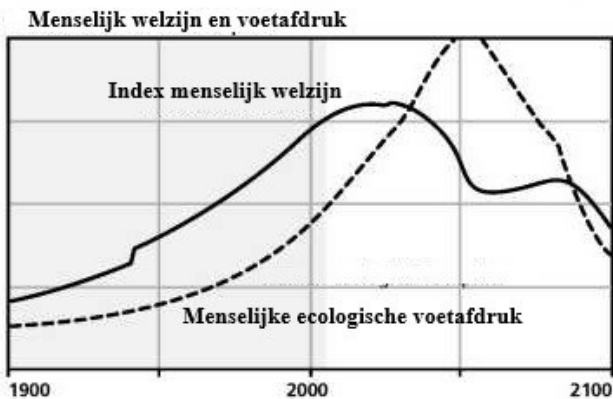
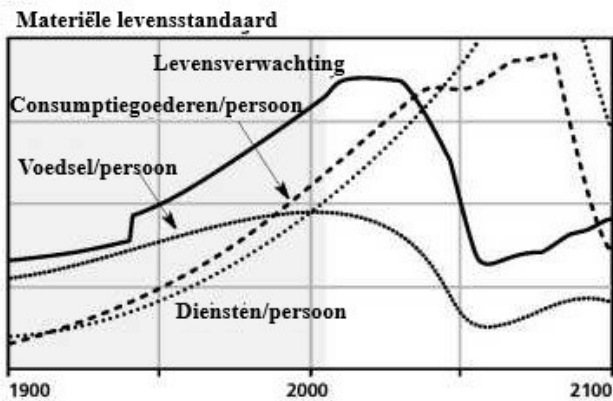
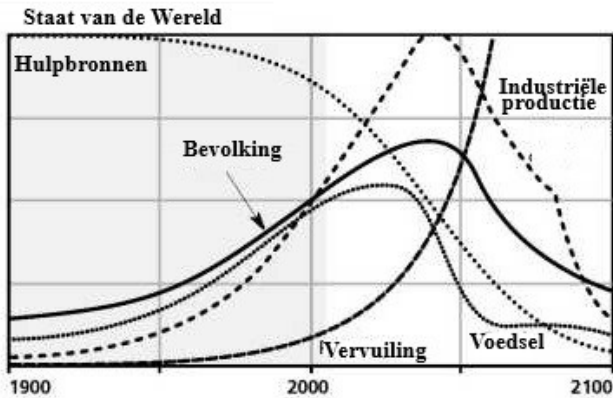
[167] Zoals u kunt zien, treedt de uitputting van hulpbronnen in deze simulatie aanzienlijk later op dan in scenario 1, waardoor de groei langer kan doorgaan. De expansie gaat nog eens 20 jaar door, lang genoeg om de industriële productie en het grondstoffenverbruik nog eens te verdubbelen. Ook de bevolking groeit langer en bereikt in het gesimuleerde jaar 2040 een piek van meer dan acht miljard. Ondanks

deze verlengingen blijft het algemene gedrag van het model overschrijding en ineenstorting. De ineenstorting wordt nu voornamelijk veroorzaakt door intense vervuiling van het mondiale milieu.

Door de hogere industriële productie neemt de vervuiling enorm toe; het vervuilingsniveau in scenario 2 bereikt ongeveer 50 jaar later dan in scenario 1 een piek, die ongeveer vijf keer zo hoog is. Deze stijging is deels te wijten aan een hogere vervuilingsgraad en deels aan het feit dat de assimilatieprocessen van vervuiling worden belemmerd. Op het hoogtepunt rond 2090 is de gemiddelde levensduur van verontreinigende stoffen in het milieu meer dan verdrievoudigd ten opzichte van het jaar 2000. Enorme hoeveelheden meststoffen, pesticiden en andere landbouwgrondstoffen vergroten de ecologische voetafdruk nog verder.

FIGUUR 4-12 Scenario 2: Meer overvloedige niet-hernieuwbare hulpbronnen

Als we de in scenario 1 veronderstelde voorraad niet-hernieuwbare hulpbronnen verdubbelen en bovendien aannemen dat de vooruitgang in de technologieën voor de winning van hulpbronnen het begin van stijgende winningskosten kan uitstellen, kan de industrie 20 jaar langer groeien. De bevolking bereikt een piek van 8 miljard in 2040, bij een veel hoger consumptieniveau. Maar de vervuiling neemt enorm toe (buiten de grafiek!), waardoor de opbrengsten van het land dalen en enorme investeringen in het herstel van de landbouw nodig zijn. De bevolking neemt uiteindelijk af als gevolg van voedseltekorten en negatieve gezondheidseffecten van de vervuiling.



Scenario 2

De vervuiling heeft een grote invloed op de vruchtbaarheid van de bodem, die in scenario 2 in de eerste helft van de 21e eeuw drastisch afneemt. Zelfs met meer investeringen om dat verlies tegen te gaan, is het effect op het herstel van de bodemvruchtbaarheid niet voldoende om te voorkomen dat de opbrengsten en de voedselproductie na 2030 sterk dalen. Daardoor stijgt het sterftecijfer. Er wordt nog meer kapitaal naar de landbouwsector gesluisd in een vergeefse poging om de honger te bestrijden, en uiteindelijk stopt de industriële sector met groeien door een gebrek aan herinvesteringen.

Scenario 2 schetst een “wereldwijde vervuilingscrisis”. In de eerste helft van de eenentwintigste eeuw stijgt de vervuiling zodanig dat de vruchtbaarheid van de bodem wordt aangetast. Dit zou in de “echte wereld” kunnen gebeuren door bodemverontreiniging met zware metalen of persistente chemische stoffen, door klimaatverandering die de groeipatronen sneller verandert dan boeren zich kunnen aanpassen, of door verhoogde ultraviolette straling als gevolg van een dunner wordende ozonlaag. [199] De vruchtbaarheid van de grond neemt tussen 1970 en 2000 slechts licht af, maar daalt met 20 procent tussen 2000 en 2030, en tegen 2060 is de inherente vruchtbaarheid van de grond nog maar een fractie van de waarde in 2000. Tegelijkertijd is de bodemerosie groot. De totale voedselproductie begint in 2030 te dalen, waardoor de economie investeringen naar de landbouwsector verschuift om de voedselvoorziening op peil te houden. Maar de schade door vervuiling is te groot en de voedselproductie herstelt zich nooit meer. In de tweede helft

van de eenentwintigste eeuw stijgt, naast het effect van voedselschaarste, het vervuilingsniveau zo hoog dat de gemiddelde levensverwachting tot een veel lager niveau daalt. De ecologische voetafdruk van de mensheid is enorm, totdat de ineenstorting deze terugbrengt tot waarden die vergelijkbaar zijn met die van de vorige eeuw.

Welk scenario is waarschijnlijker, scenario 1 of scenario 2? Als er een wetenschappelijke manier was om die vraag te beantwoorden, zou het afhangen van bewijs over de “werkelijke” hoeveelheid onontdekte niet-hernieuwbare hulpbronnen in de grond. Maar die cijfers kunnen we niet met zekerheid weten. In ieder geval zijn er nog veel meer onzekere cijfers om te toetsen en veel technische en beleidswijzigingen om uit te proberen. Daar komen we in hoofdstuk 6 en 7 op terug. Het enige wat World3 ons tot nu toe heeft verteld, is dat het modelsysteem de neiging heeft om te overschrijden en in te storten. In de duizenden modelruns die we in de loop der jaren hebben uitgevoerd, waren overschrijding en ineenstorting veruit de meest voorkomende uitkomsten, maar niet de onvermijdelijke. De redenen voor dat gedrag zouden nu duidelijk moeten zijn.

Waarom overschrijding en instorting?

Een bevolking en economie bevinden zich in een overschrijdingsmodus wanneer ze hulpbronnen onttrekken of verontreinigende stoffen uitstoten in een tempo dat niet duurzaam is, maar nog niet in een situatie waarin de druk op het ondersteunende systeem zo groot is dat de onttrekking of uit-

stoot moet worden verminderd. Met andere woorden: de mensheid bevindt zich in een overschrijdingsmodus wanneer de ecologische voetafdruk van de mens boven het duurzame niveau ligt, maar nog niet groot genoeg is om veranderingen teweeg te brengen die leiden tot een afname van de ecologische voetafdruk.

Overshoot ontstaat door vertragingen in de *feedback*. Besluitvormers in het systeem krijgen niet onmiddellijk informatie over het overschrijden van grenzen, of geloven deze niet, of handelen er niet naar. Overshoot is mogelijk omdat er geaccumuleerde hulpbronnenvoorraden zijn die kunnen worden aangesproken. Je kunt bijvoorbeeld elke maand meer uitgeven dan je verdient, in ieder geval voor een tijdje, als je geld op een bankrekening hebt staan. Je kunt water sneller uit een badkuip laten lopen dan het door de kraan wordt aangevuld, tenminste totdat je de oorspronkelijke voorraad water in de kuip hebt uitgeput. Je kunt meer hout uit een bos halen dan de jaarlijkse groei, zolang je begint met een bestaande voorraad hout die in de loop van vele decennia is gegroeid en opgebouwd. Je kunt genoeg vee fokken om te veel te grazen, of genoeg boten bouwen om te veel te vissen, als je in het verleden een voorraad voer en vis hebt opgebouwd die niet is uitgeput. Hoe groter de oorspronkelijke voorraad, hoe groter en langer de overschrijding kan zijn. Als een samenleving zich laat leiden door de beschikbaarheid van voorraden in plaats van door de snelheid waarmee deze worden aangevuld, zal er een overschrijding plaatsvinden.

Fysieke momentum vergroot de vertraging van de waar-

schuwingssignalen en is een andere bron van vertraging in de reactie daarop. Door de tijd die nodig is om bossen te laten hergroeien, bevolkingsgroepen te laten vergrijzen, verontreinigende stoffen door het ecosysteem te laten werken, vervuild water weer schoon te laten worden, kapitaalgoederen af te schrijven, mensen op te leiden of om te scholen, kan het systeem niet van de ene op de andere dag veranderen, zelfs niet nadat het de problemen heeft waargenomen en erkend. Om correct te sturen, moet een systeem met een inherent momentum minstens zo ver vooruitkijken als zijn momentum het kan dragen. Hoe langer een boot nodig heeft om te draaien, hoe verder zijn radar vooruit moet kijken. De politieke en marktsystemen van de wereld kijken niet ver genoeg vooruit.

De laatste factor die bijdraagt aan overschrijding is het streven naar groei. Als u in een auto rijdt met beslagen ruiten of defecte remmen, is het eerste wat u doet om overschrijding te voorkomen, vaart minderen. U gaat zeker niet doorrijden. Vertragingen in de feedback kunnen worden opgevangen zolang het systeem niet zo snel gaat dat het geen signalen meer kan ontvangen en reageren voordat het de limiet bereikt. Constante versnelling brengt elk systeem, hoe slim, vooruitziend en goed ontworpen ook, op een punt waarop het niet meer tijdig kan reageren. Zelfs een auto en een bestuurder die perfect functioneren, zijn onveilig bij hoge snelheden. Hoe sneller de groei, hoe groter de overschrijding en hoe dieper de val. De politieke en economische systemen van de wereld zijn erop gericht om de hoogst mogelijke groeicijfers te behalen.

Wat de overschrijding uiteindelijk omzet in een ineenstorting is erosie, geholpen door niet-lineariteiten. Erosie is een stressfactor die zichzelf vermenigvuldigt als er niet snel iets aan wordt gedaan. Niet-lineariteiten zoals weergegeven in figuren 4-2 en 4-7 zijn gelijk aan drempels, waarboven het gedrag van een systeem plotseling verandert. [201] Een land kan kopererts tot steeds lagere kwaliteiten ontginnen, maar onder een bepaalde kwaliteit stijgen de ontginningskosten plotseling. Bodem kan eroderen zonder dat dit invloed heeft op de oogst, totdat de bodem ondieper wordt dan de wortelzone van het gewas. Verdere erosie leidt dan snel tot woestijnvorming. De aanwezigheid van drempels maakt de gevolgen van feedbackvertragingen nog ernstiger. Als je in die auto met beslagen ruiten en defecte remmen rijdt, moet je in scherpe bochten nog langzamer rijden.

Elk systeem van bevolking, economie en milieu dat feedbackvertragingen en trage fysieke reacties kent, dat drempels en erosieve mechanismen heeft en dat snel groeit, is letterlijk onbeheersbaar. Hoe fantastisch de technologieën ook zijn, hoe efficiënt de economie ook is, hoe wijs de leiders ook zijn, het kan zichzelf niet uit de gevarenzone loodsen. Als het voortdurend probeert te versnellen, zal het zijn doel voorbijschieten.

Per definitie is overshoot een toestand waarin de vertraagde signalen uit de omgeving nog niet sterk genoeg zijn om een einde aan de groei te maken. Hoe kan de samenleving dan weten of ze zich in overshoot bevindt? Dalende grondstofvoorraden en stijgende vervuilingsniveaus zijn de eerste aanwijzingen. Hier zijn nog enkele andere symptomen:

- Kapitaal, hulpbronnen en arbeid worden ingezet voor activiteiten die het verlies compenseren van diensten die voorheen kosteloos door de natuur werden geleverd (bijvoorbeeld rioolwaterzuivering, luchtzuivering, waterzuivering, overstromingsbeheersing, ongediertebestrijding, herstel van bodemvoedingsstoffen, bestuiving of het behoud van soorten).
- Kapitaal, hulpbronnen en arbeid worden onttrokken aan de productie van eindproducten en ingezet voor de exploitatie van schaarsere, verder weg gelegen, dieper gelegen of meer verdunde hulpbronnen.
- Technologieën die worden uitgevonden om gebruik te maken van minderwaardige, kleinere, meer verspreide en minder waardevolle hulpbronnen, omdat de meer waardevolle hulpbronnen zijn verdwenen.
- Falende natuurlijke mechanismen voor het opruimen van vervuiling; stijgende vervuilingsniveaus.
- Kapitaalafschrijvingen die hoger zijn dan de investeringen, en uitgesteld onderhoud, waardoor de kapitaalvoorraden verslechteren, met name langlevende infrastructuur.
- Groeiende vraag naar kapitaal, hulpbronnen en arbeidskrachten die door het leger of de industrie worden gebruikt om toegang te krijgen tot, en de controle over, hulpbronnen die steeds meer geconcentreerd zijn in minder talrijke, verder afgelegen of steeds vijandiger regio's.
- Uitstel van investeringen in menselijk kapitaal (onderwijs, gezondheidszorg, huisvesting) om te kunnen voldoen aan onmiddellijke consumptie-, investerings- of veiligheidsbehoeften, of om schulden af te lossen.

- Schulden die een stijgend percentage van de jaarlijkse reële productie uitmaken.
- Afbrokkelende doelstellingen op het gebied van gezondheid en milieu.
- Toenemende conflicten, met name conflicten over bronnen of putten.
- Veranderende consumptiepatronen doordat de bevolking niet langer de prijs kan betalen van wat ze echt wil en in plaats daarvan koopt wat ze zich kan veroorloven.
- Afnemend respect voor de instrumenten van collectief bestuur, omdat deze in toenemende mate door de elites worden gebruikt om hun aandeel in een afnemende hulpbronnenbasis te behouden of te vergroten.
- Toenemende chaos in natuurlijke systemen, met “natuurlijke” rampen die vaker voorkomen en ernstiger zijn vanwege de verminderde veerkracht van het milieusysteem.

[202] Ziet u een van deze symptomen in uw “echte wereld”? Als dat het geval is, moet u vermoeden dat uw samenleving zich in een vergevorderd stadium van overschrijding bevindt.

Een periode van overschrijding leidt niet noodzakelijkerwijs tot ineenstorting. Er moet echter wel snel en vastberaden worden opgetreden om ineenstorting te voorkomen. De hulpbronnenbasis moet snel worden beschermd en het verbruik ervan moet drastisch worden verminderd. Overmatige vervuiling moet worden teruggedrongen en de uitstoot moet worden teruggebracht tot een niveau dat onder het duurzame

niveau ligt. Het is misschien niet nodig om de bevolking, het kapitaal of de levensstandaard te verminderen. Wat snel moet worden teruggedrongen, is het verbruik van materialen en energie. Met andere woorden, de ecologische voetafdruk van de mensheid moet worden verkleind. Gelukkig (op een perverse manier) is er zoveel verspilling en inefficiëntie in de huidige wereldeconomie dat er een enorm potentieel is om de voetafdruk te verkleinen en tegelijkertijd de levenskwaliteit te handhaven of zelfs te verbeteren.

Samenvattend zijn dit de centrale aannames in het World3-model die ervoor zorgen dat het tot overschrijding en ineenstorting neigt. *Als u het niet eens bent met ons model, onze stelling, ons boek of onze conclusies, zijn dit de punten waarop u kunt ingaan:*

- Groei van de fysieke economie wordt als wenselijk beschouwd; het staat centraal in onze politieke, psychologische en culturele systemen. Groei van zowel de bevolking als de economie, wanneer die zich voordoet, is meestal exponentieel.
- Er zijn fysieke grenzen aan de bronnen van materialen en energie die de bevolking en de economie in stand houden, en er zijn grenzen aan de opslagplaatsen die de afvalproducten van menselijke activiteiten absorberen.
- De groeiende bevolking en economie ontvangen signalen over fysieke grenzen die vervormd, verstoord, vertraagd, verward of ontkend worden. De reacties op die signalen komen te laat.
- De grenzen van het systeem zijn niet alleen eindig, maar ook erodeerbaar wanneer ze overbelast of overmatig ge-

bruikt worden. Bovendien zijn er sterke niet-lineariteiten – drempels waarboven de schade snel toeneemt en onomkeerbaar kan worden.

Door deze oorzaken van overschrijding en ineenstorting op te sommen, ontstaat ook een lijst van manieren om ze te voorkomen. Om het systeem te veranderen zodat het duurzaam en beheersbaar wordt, moeten dezelfde structurele kenmerken worden omgekeerd:

- De groei van de bevolking en het kapitaal moet worden vertraagd en uiteindelijk worden gestopt door menselijke beslissingen die worden genomen in anticipatie op toekomstige problemen, in plaats van door feedback van externe grenzen die al zijn overschreden.
- De doorvoer van energie en materialen moet worden verminderd door de efficiëntie van het kapitaal drastisch te verhogen. Met andere woorden, de ecologische voetafdruk moet worden verkleind door dematerialisatie (minder gebruik van energie en materialen om dezelfde output te verkrijgen), meer gelijkheid (herverdeling van de voordelen van het gebruik van energie en materialen van rijk naar arm) en veranderingen in levensstijl (vermindering van de vraag of verschuiving van de consumptie naar goederen en diensten die minder negatieve effecten hebben op de fysieke omgeving).
- Bronnen en putten moeten worden behouden en waar mogelijk hersteld. [204]
- Signalen moeten worden verbeterd en reacties versneld; de samenleving moet verder vooruitkijken en huidige

maatregelen baseren op langetermijncosten en -baten.

- Erosie moet worden voorkomen en, waar deze al bestaat, worden vertraagd en vervolgens omgekeerd.

In hoofdstukken 6 en 7 laten we zien hoe dit soort veranderingen de neiging tot overschrijding en ineenstorting van het World3-systeem – en, naar wij geloven en hopen, de wereld – kunnen veranderen. Maar eerst maken we in hoofdstuk 5 een korte uitstap naar een verhaal dat alle dynamische principes illustreert die we in dit hoofdstuk hebben gepresenteerd, en dat een basis biedt voor hoop.

HOOFDSTUK – 5

TERUG VAN ACHTER DE GRENZEN: HET VERHAAL VAN DE OZONLAAG

Op de een of andere manier bevinden we ons midden in een grootschalig experiment om de chemische samenstelling van de stratosfeer te veranderen, ook al hebben we geen duidelijk beeld van de biologische of meteorologische gevolgen daarvan.

-F. SHERWOOD ROWLAND, 1986

In dit hoofdstuk vertellen we een nuttig verhaal over het overschrijden van een belangrijke grens, het observeren van de gevolgen en de succesvolle strijd om de menselijke activiteit weer terug te brengen tot een duurzaam niveau. Het verhaal gaat over het beperkte vermogen van de ozonlaag in de stratosfeer om door de mens geproduceerde chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's) te absorberen.

Het laatste hoofdstuk van ons verhaal zal pas over enkele decennia worden geschreven. Maar tot nu toe geeft dit verhaal reden tot hoop. Het laat zien dat mensen en instellingen, ondanks hun gebruikelijke menselijke tekortkomingen, op wereldschaal kunnen samenwerken, een overschrijdingsprobleem kunnen diagnosticeren en vervolgens oplossingen kunnen bedenken en uitvoeren. In dit geval zal de wereldge-

meenschap relatief weinig opofferen om de noodzaak van een leven binnen bepaalde grenzen te accepteren.

De belangrijkste gebeurtenissen in het ozonverhaal zijn de volgende. Wetenschappers sloegen als eersten alarm over de verdwijning van de ozonlaag en organiseerden zich vervolgens over politieke grenzen heen om effectief onderzoek te doen. Maar dat konden ze pas doen nadat ze hun eigen blinde vlekken en hun onervarenheid met het politieke proces hadden overwonnen. Consumenten organiseerden zich snel om een schadelijke trend te keren, maar hun acties alleen waren niet voldoende voor een permanente oplossing van het probleem. Regeringen en bedrijven traptten aanvankelijk op de rem en waren sceptisch, maar uiteindelijk kwamen sommigen van hen naar voren als moedige en onbaatzuchtige leiders. Milieuactivisten werden bestempeld als wildogige paniekzaaiers, maar in dit geval bleken zij het probleem te hebben onderschat.

[207] De Verenigde Naties toonden in dit verhaal hun vermogen om cruciale informatie over de hele wereld te verspreiden en een neutraal platform en geavanceerde bemiddeling te bieden, terwijl regeringen een onmiskienbaar internationaal probleem probeerden op te lossen. Industrialiserende landen vonden in de ozoncrisis een nieuwe kracht om voor zichzelf op te komen door samenwerking te weigeren totdat ze de technische en financiële steun kregen die ze zo hard nodig hadden.

Uiteindelijk erkenden de landen van de wereld dat ze een ernstige grens hadden overschreden. Nuchter en met tegenzin kwamen zij overeen om een reeks winstgevende en nut-

tige industriële producten op te geven. Zij begonnen daarmee voordat er economische, biologische of menselijke schade was geconstateerd en voordat er volledige wetenschappelijke zekerheid was. Zij hebben dat waarschijnlijk op tijd gedaan.

De groei

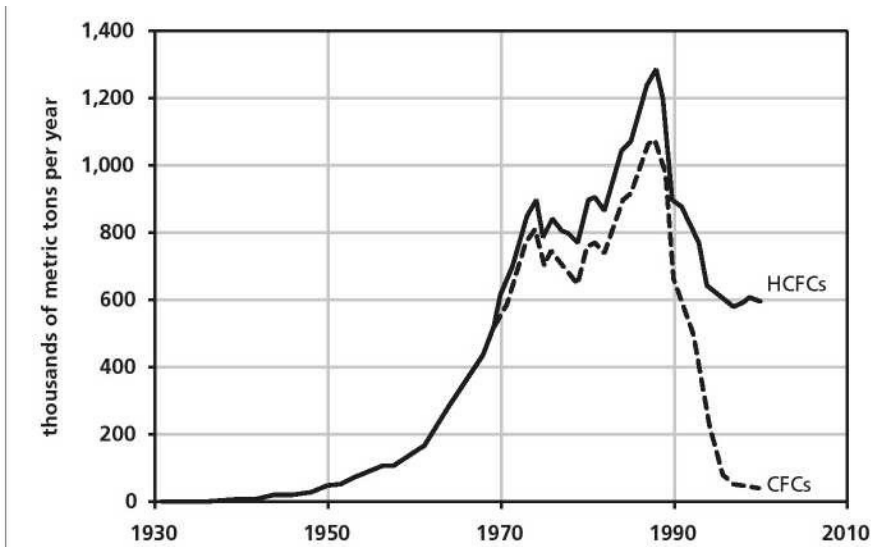
Chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's), die in 1928 werden uitgevonden, behoren tot de nuttigste verbindingen die ooit door de mens zijn gesynthetiseerd. Ze lijken geen levende wezens te vergifigen, misschien omdat ze chemisch zo stabiel zijn. Ze branden niet, reageren niet met andere stoffen en tasten materialen niet aan. Ze hebben een lage thermische geleidbaarheid, waardoor ze uitstekende isolatiematerialen zijn wanneer ze in plastic schuim worden geblazen voor blikken voor warme dranken, hamburgerverpakkingen of muurisolatie. Sommige CFK's verdampen en condenseren opnieuw bij kamertemperatuur. Deze eigenschap maakt ze perfecte koelmiddelen voor koelkasten en airconditioners. (In die toepassing zijn ze vaak bekend onder de handelsnaam Freon). CFK's zijn goede oplosmiddelen voor het reinigen van metalen, van de ingewikkelde microruimtes op elektronische printplaten tot de klinknagels waarmee vliegtuigen in elkaar worden gehouden. CRC's zijn goedkoop te produceren en kunnen veilig worden afgevoerd – althans, dat dacht iedereen – door ze gewoon als gas in de atmosfeer te laten ontsnappen of door de producten die ze bevatten op stortplaatsen te begraven.

Zoals **figuur 5-1** laat zien, groeide de wereldwijde productie van CFK's tussen 1950 en 1975 met meer dan 11 procent per jaar, waardoor de productie bijna elke zes jaar verdubbelde. Halverwege de jaren tachtig produceerde de industrie jaarlijks een miljoen ton CFK's. Alleen al in de Verenigde Staten werden CFK-koelmiddelen gebruikt in 100 miljoen koelkasten, 30 miljoen diepvriezers, 45 miljoen airconditioners voor thuisgebruik, 90 miljoen airconditioners voor auto's en honderdduizenden koelkasten in restaurants, supermarkten en koelwagens.^{Q2} **[208]** De gemiddelde Noord-Amerikaan of Europeaan verbruikte 0,9 kilogram (twee pond) CFK's per jaar. De gemiddelde inwoner van China of India verbruikte minder dan 0,03 kg (één ounce).^{Q3} Voor een aantal chemische bedrijven in Noord-Amerika, Europa, Rusland en Azië waren deze stoffen een belangrijke bron van inkomsten. Duizenden bedrijven beschouwden ze als essentiële grondstoffen voor hun eigen productieprocessen.

De grens

De held van ons verhaal is een onzichtbaar gas dat ozon heet en bestaat uit drie aan elkaar gebonden zuurstofatomen (O_3), in tegenstelling tot gewone zuurstof, dat uit twee gebonden zuurstofatomen (O_2) bestaat. **[209]** Ozon is zo reactief dat het bijna alles waarmee het in contact komt, aantast en oxideert. De lagere atmosfeer biedt ozon een dichte populatie deeltjes en oppervlakken waarmee het kan reageren. Van bijzonder belang zijn plantenweefsels en menselijke longen. Dicht bij het aardoppervlak is ozon een destructieve maar kortlevende luchtverontreinigende stof. Hoog in de

stratosfeer komt een ozonmolecuul echter normaal gesproken weinig tegen en blijft het relatief lang bestaan, doorgaans 50 tot 100 jaar. Ozon wordt voortdurend in de hoogte gevormd door de inwerking van zonlicht op gewone zuurstof. Zo heeft zich 6 tot 20 miljard boven de aarde een “ozonlaag” opgehoopt.



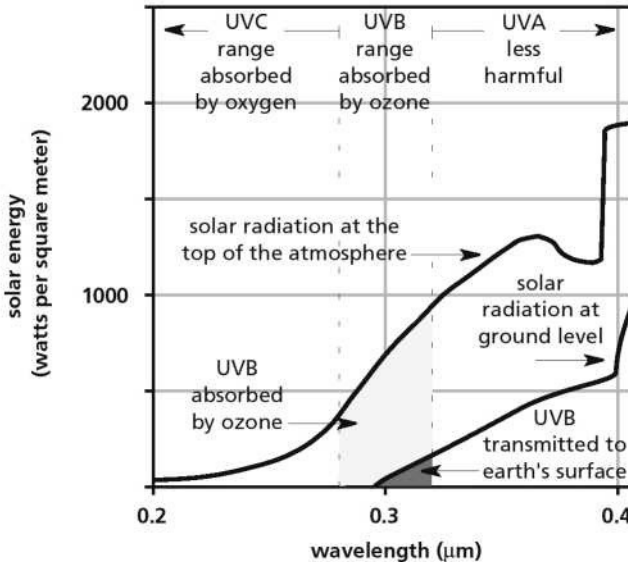
FIGUUR 5-1 Wereldproductie van chloorfluorkoolwaterstoffen
De productie van CFK's groeide snel tot 1974, toen de eerste artikelen verschenen waarin de effecten ervan op de ozonlaag werden beschreven. De daaropvolgende daling was het gevolg van milieubewustzijn tegen CFK-houdende spuitbussen, die in 1978 in de Verenigde Staten werden verboden. Na 1982 zorgde de uitbreiding van andere toepassingen van CFK's voor een tijdelijke stijging van de productie. In 1990 begon de productie te dalen toen de internationaal overeengekomen uitfasering van CFK's van start ging. HCFC's zijn nog steeds toegestaan als vervangingsmiddelen; de uitfasering van deze klasse chemicaliën is gepland voor 2030 tot 2040. (Bron: Alternative Fluorocarbons Environmental Acceptability Study)

De ozonlaag is alleen rijk aan ozon in vergelijking met de schaarste van dat gas elders in de atmosfeer. Slechts 1 molecuul op 100.000 in de ozonlaag is daadwerkelijk ozon. Maar die concentratie is voldoende om het grootste deel van een bijzonder schadelijke ultraviolette golflengte, UVB genaamd, uit het invallende zonlicht te absorberen (zie figuur 5-2). UVB-licht is een regen van kleine energiekogels met precies de juiste frequentie om organische moleculen uit elkaar te halen – het soort moleculen waaruit al het leven bestaat, inclusief het DNA dat de code voor de voortplanting van het leven bevat. De ozonlaag is dus een ragfijne sluier met een cruciale functie.

Wanneer levende organismen worden blootgesteld aan UVB, kan dit onder andere leiden tot kanker. Het is al lang bekend dat UVB-licht huidkanker veroorzaakt bij proefdieren. Bijna alle gevallen van huidkanker bij mensen komen voor op lichaamsdelen die aan de zon worden blootgesteld. Ze komen vooral voor bij mensen met een lichte huid die veel tijd buiten doorbrengen. Australië heeft het hoogste percentage huidkanker ter wereld: bij het huidige aantal gevallen zal de helft van alle Australiërs tijdens hun leven een vorm van huidkanker krijgen. De meest dodelijke vorm, kwaadaardig melanoom, is de meest voorkomende vorm van kanker onder Australiërs tussen 15 en 44 jaar.⁴ Wetenschappers schatten dat voor elke 1 procent afname van de ozonlaag, de UVB-straling op het aardoppervlak met 2 procent toeneemt en het aantal gevallen van huidkanker met 3 tot 6 procent stijgt.

UVB-straling brengt de menselijke huid in dubbel gevaar.

Het kan niet alleen de groei van kanker veroorzaken, maar ook het immuunsysteem onderdrukken, waardoor het minder goed in staat is om kanker, herpes en andere infectieziekten te bestrijden.



FIGUUR 5-2 Absorptie van licht door de atmosfeer

Het ultraviolette licht van de zon wordt bijna volledig geabsorbeerd door zuurstof en ozon in de atmosfeer. Ozon absorbeert met name straling in het UVB-gebied, dat gevaarlijk is voor levende organismen. (Bron: UNEP)

Naast de huid is het oog het lichaamsdeel dat het meest aan licht wordt blootgesteld. UVB-licht kan het hoornvlies verbranden, wat een pijnlijke aandoening veroorzaakt die bekend staat als 'sneeuwblindheid', omdat het skiërs en bergbeklimmers op grote hoogte treft. Incidentele sneeuwblind-

heid is zeer pijnlijk; herhaalde sneeuwblindheid kan het gezichtsvermogen permanent verminderen. UVB-licht kan ook het netvlies beschadigen en staar in de ooglenzen veroorzaken.

[210] Als er meer UVB-licht het aardoppervlak zou bereiken, zouden alle dieren met ogen en huid die aan de zon worden blootgesteld, naar verwachting soortgelijke effecten ondervinden als mensen. Gedetailleerd onderzoek naar andere effecten van UVB staat nog in de kinderschoenen, maar sommige resultaten zijn al duidelijk:

- Eencellige en zeer kleine organismen lopen meer kans op schade dan grote organismen, omdat UVB slechts enkele cellagen kan doordringen.
- UVB-licht dringt slechts enkele meters diep door in de oceaan, maar dit is de laag waar de meeste micro-organismen in het water leven. Onderzoek toont aan dat deze kleine, drijvende planten en dieren gevoelig zijn voor UVB-straling.^{Q6} [211] Er bestaat nog geen consensus over de omvang van het effect of over de impact van UVB op de interacties tussen de verschillende soorten in een ecosysteem. Maar deze micro-organismen vormen de basis van de meeste voedselketens in de oceaan. Daarom zou een toename van UVB veel soorten in de oceaan kunnen verstoren.
- Blootstelling aan UVB-licht vermindert het bladoppervlak, de planthoogte en de fotosynthese van groene planten. Verschillende landbouwgewassen reageren in verschillende mate op UVB-straling, maar bij 60 procent van de onderzochte gewassen daalt de opbrengst naarmate de UVB-straling toeneemt. Een studie suggereerde bijvoorbeeld dat een afname van de ozonlaag met 25 procent de

opbrengst van sojabonen met 20 procent zou kunnen verminderen.^{Q7}

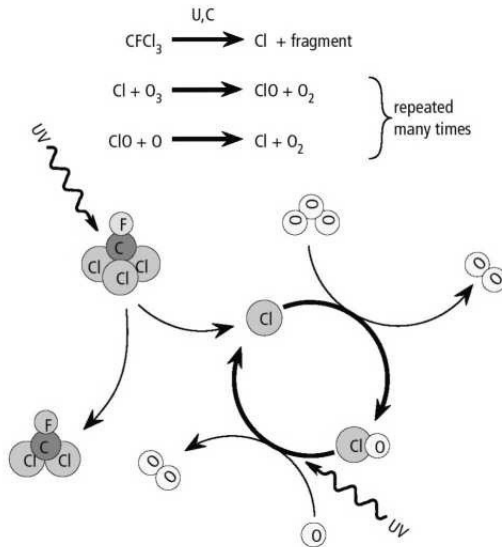
- Ultraviolette straling tast polymeren en kunststoffen in de buitenlucht aan en is een factor in de vorming van laaghangende ozon, een bestanddeel van stedelijke smog.

Levende wezens hebben zich op vele manieren ontwikkeld om zich tegen ultraviolet licht te beschermen: pigmentatie, haar- of schubbedek, mechanismen om beschadigd DNA te herstellen en gedragspatronen die gevoelige wezens verborgen houden voor fel zonlicht. Omdat deze mechanismen voor sommige soorten beter werken dan voor andere, zou een verslechtering van de ozonlaag kunnen leiden tot een afname of uitsterven van sommige soorten en een toename van andere. Grazers zouden in onbalans kunnen raken met hun voedselvoorziening, plagen met hun roofdieren en parasieten met hun gastheren. Elk ecosysteem zou de gevolgen van een verminderde ozonlaag op onvoorspelbare manieren voelen, vooral als er tegelijkertijd andere veranderingen plaatsvinden, zoals de opwarming van de aarde.

De eerste signalen

In 1974 werden onafhankelijk van elkaar twee wetenschappelijke artikelen gepubliceerd, die beide wezen op een bedreiging voor de ozonlaag. In het ene artikel werd gesteld dat chlooratomen in de stratosfeer krachtige ozonvernietigers konden zijn.^{Q8} In het tweede artikel werd gesteld dat CFK's de stratosfeer bereikten en daar uiteenvielen, waarbij

chlooratomen vrijkwamen.^{Q9} Samen voorspelden deze publicaties dat het gebruik van CFK's door de mens zeer ernstige gevolgen zou kunnen hebben.



FIGUUR 5-3 Hoe CFK's stratosferische ozon vernietigen
CFK-moleculen hoog in de stratosfeer worden door ultravioleet licht afgebroken, waardoor vrije chlooratomen (Cl) vrijkomen. Deze atomen reageren met ozon (O₃) en vormen chloormonoxide (ClO). Het ClO kan vervolgens reageren met een zuurstofatoom, waardoor opnieuw Cl vrijkomt, dat weer kan reageren met een ander ozonmolecuul, enzovoort. Deze cyclische reactie herhaalt zich keer op keer, waardoor de ozonconcentratie in de atmosfeer sterk afneemt.

[212] Omdat CFK's inert en onoplosbaar zijn, lossen ze niet op in regen en reageren ze niet met andere gassen. De golflengten van zonlicht die de lagere atmosfeer bereiken, breken hun sterke koolstof-chloor- en koolstof-fluorverbindingen niet. De enige manier waarop een CFK-molecuul uit de

atmosfeer kan worden verwijderd, is door hoog genoeg te stijgen zodat het in contact komt met kortgolvlige ultraviolette straling – precies het licht dat nooit het aardoppervlak bereikt omdat het door ozon en zuurstof wordt gefilterd. Die straling breekt het CFK-molecuul af, waardoor vrije chlooratomen vrijkomen.

Daar begint de probleem. Vrij chloor (Cl) kan reageren met ozon en zo zuurstof en chlooroxide (ClO) vormen. Vervolgens reageert het ClO met een zuurstofatoom (O) en vormt zo weer O₂ en Cl. Het Cl-atoom kan dan een ander ozonmolecuul omzetten in zuurstof en opnieuw worden geregeneerd (figuur 5-3).

[213] Een Cl-atoom kan deze reeks reacties keer op keer doorlopen en telkens één ozonmolecuul vernietigen. Het gemiddelde Cl-atoom vernietigt ongeveer 100.000 ozonmoleculen voordat het uiteindelijk uit de circulatie wordt gehaald (door een reactie met een stof zoals methaan of stikstofdioxide, die het immobiliseert en terug naar de aarde brengt).

De vertragingen

Overschoot vereist vertragingen, en er zijn veel vertragingen in het ozonsysteem. De voortdurende regeneratie van Cl betekent dat er vele jaren zullen verstrijken nadat het in de stratosfeer is aangekomen, voordat een Cl-atoom uiteindelijk ophoudt met het afbreken van ozon. Een andere vertraging is de lange tijd die verstrijkt tussen de industriële synthese van een CFK-molecuul en de aankomst ervan in de bovenste stratosfeer. Bij sommige toepassingen (zoals drijf-

gassen in spuitbussen) volgt de productie snel op de lozing in de lucht. Bij andere toepassingen (zoals koelmiddelen of schuimisolatie) komt het CFK doorgaans pas jaren na de productie in de lucht terecht. Na de lozing duurt het tientallen jaren voordat alle CFK-moleculen door de atmosferische stromingen in de hoge stratosfeer terechtkomen. De op elk moment gemeten verdunning van de ozonlaag is dus het gevolg van CFK's die vele jaren of decennia eerder zijn geproduceerd.

De processen die nieuwe kennis opleveren en uiteindelijk leiden tot wetenschappelijke consensus, gaan ook gepaard met vertraging, hoewel in dit geval verschillende politieke factoren de tijd hebben verkort.

De twee artikelen waarin de uitputting van de ozonlaag werd voorspeld, leidden tot een golf van onderzoek naar de chemie van chloor in de atmosfeer. In de Verenigde Staten vond de wetenschappelijke informatie ook snel zijn weg naar het politieke proces. Dat kwam deels doordat de auteurs van een van de eerste artikelen Amerikanen waren, die zich grote zorgen maakten over hun bevindingen en zich energiek inzetten om deze onder de aandacht van het publiek te brengen (met name F. Sherwood Rowland, die de kwestie aan de orde stelde bij de Amerikaanse National Academy of Sciences en het Amerikaanse Congres). Een andere factor die in de VS van invloed was, was de goed georganiseerde milieubeweging.

Toen Amerikaanse milieuactivisten de implicaties van het verband tussen CFK's en ozon begrepen, kwamen ze in actie. Ze begonnen met het veroordelen van het gebruik van

CFK's in spuitbussen. [214] Het was waanzin, zeiden ze, om het leven op aarde in gevaar te brengen alleen maar om deodorant en scheerschuim te kunnen gebruiken. De stigmatisering van spuitbussen was te simplistisch, aangezien er ook CFK-vrije drijfgassen werden gebruikt en er veel andere toepassingen voor CFK's waren. Maar spuitbussen werden bestempeld als ozonvernietigers en de consument reageerde: de verkoop van spuitbussen daalde met meer dan 60 procent. Het resultaat is te zien in **figuur 5-1**: de groei kwam rond 1975 tijdelijk tot stilstand. De politieke druk om een wet in te voeren die het gebruik van CFK's in spuitbussen verbood, nam toe.

Er was natuurlijk weerstand vanuit de industrie. Een directeur van DuPont verklaarde in 1974 voor het Congres dat “de chloor-ozonhypothese op dit moment puur speculatief is en niet wordt ondersteund door concreet bewijs”. Maar, zo zei hij, “Als uit betrouwbare wetenschappelijke gegevens blijkt dat chloorfluorkoolstoffen niet kunnen worden gebruikt zonder gevaar voor de gezondheid, zal DuPont de productie van deze verbindingen stopzetten.”^{Q10} Pas 14 jaar later kwam DuPont, 's werelds grootste producent van CFK's, die belofte na.

In 1978 werd in de Verenigde Staten een wet aangenomen die het gebruik van CFK's als drijfgas in spuitbussen verbood. Samen met de consumentenactie die de verkoop van spuitbussen al had teruggedrongen, leidde dat verbod tot een sterke daling van de wereldwijde productie van CFK's. In het grootste deel van de rest van de wereld bevatten spuitbussen echter nog steeds CFK's en het gebruik van CFK's,

met name in de elektronica-industrie, bleef stijgen. In 1980 was het wereldwijde gebruik van CFK's weer terug op het niveau van 1975 en bleef het stijgen (figuur 5-1).

Overschrijding: het ozongat

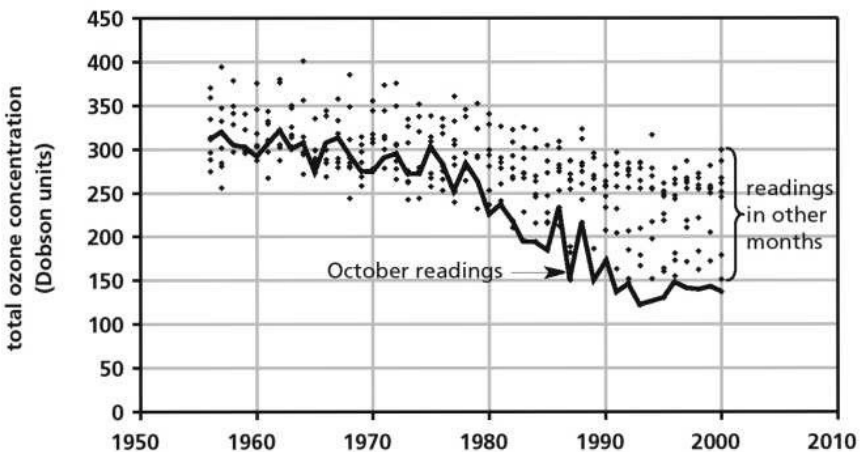
In oktober 1984 maten wetenschappers van de British Antarctic Survey een afname van 40 procent van de ozon in de stratosfeer boven hun meetstation in Halley Bay op Antarctica. Hun ozonmetingen in oktober waren al ongeveer tien jaar gestaag gedaald (**figuur 5-4**). Maar de wetenschappers konden niet geloven wat ze zagen. Een daling van 40 procent leek onmogelijk. Computermodellen op basis van de toenmalige kennis van de atmosferische chemie voorspelden hooguit een daling van enkele procenten.

De wetenschappers controleerden hun instrumenten opnieuw. Ze zochten naar bevestigende metingen elders. Uiteindelijk vonden ze er een: een meetstation ongeveer 1600 kilometer ten noordwesten meldde ook enorme dalingen van de ozon in de stratosfeer.

[215] In mei 1985 werd het historische artikel gepubliceerd waarin een “ozongat” in het zuidelijk halfrond werd aangekondigd. Het nieuws schokte de wetenschappelijke wereld. Als het waar was, bewezen de resultaten dat de mensheid al een mondiale grens had overschreden. Het gebruik van CFK's was boven de duurzame grenzen gestegen. De mens was al bezig zijn ozonlaag te vernietigen.

Wetenschappers van de National Aeronautics and Space Ad-

ministration (NASA) in de Verenigde Staten haastten zich om de metingen van de ozon in de atmosfeer door de Nimbus 7-satelliet te controleren, metingen die sinds 1978 routinematig werden uitgevoerd. Nimbus 7 had nog nooit een ozongat aangetoond. Bij controle ontdekten NASA-wetenschappers dat hun computers waren geprogrammeerd om zeer lage ozonwaarden te verwerpen, in de veronderstelling dat dergelijke lage waarden op een instrumentfout moesten duiden.^{Q12}



FIGUUR 5-4 Ozonmetingen bij Halley, Antarctica

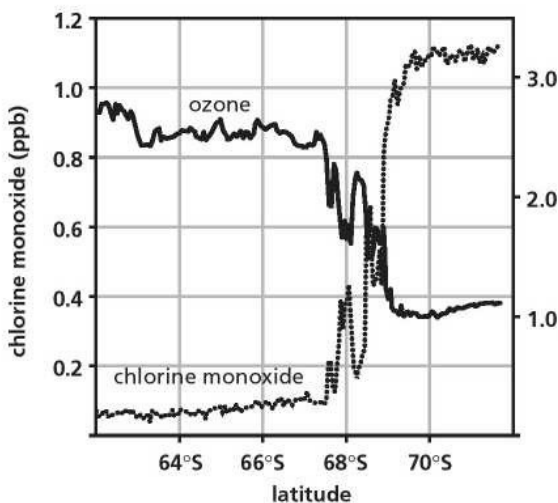
De ozonconcentraties in de atmosfeer boven Halley, Antarctica, gemeten in de maand oktober wanneer de zon terugkeert in het zuidelijke voorjaar, waren al meer dan tien jaar aan het dalen voordat het artikel over het ozongat in 1985 werd gepubliceerd. Sindsdien zijn de ozonwaarden in oktober blijven dalen. (Bron: J. D. Shanklin.)

[216] Gelukkig konden de door de computer verwijderde metingen worden hersteld. Ze bevestigden de waarnemin-

gen in Halley Bay en toonden aan dat de ozonconcentraties boven de Zuidpool al tien jaar aan het dalen waren. Bovendien leverden ze een gedetailleerde kaart van het gat in de ozonlaag op. Het was enorm, ongeveer zo groot als het vasteland van de Verenigde Staten, en het werd elk jaar groter en dieper.

Waarom een gat? Waarom boven Antarctica? Wat betekende deze ontdekking voor de bescherming van de hele planeet tegen UVB-straling? Het werk dat wetenschappers de daaropvolgende jaren verrichtten om dit mysterie op te lossen, was buitengewoon. Een van de meest spectaculaire bewijzen dat chloor inderdaad de boosdoener was, werd in september 1987 verzameld, toen wetenschappers met een vliegtuig vanuit Zuid-Amerika rechtstreeks naar de Zuidpool en het ozongat vlogen. Hun metingen van ozon en CIO tijdens de vlucht zijn weergegeven in **figuur 5-5**. Stijgingen en dalingen in ozon worden bijna exact weerspiegeld door dalingen en stijgingen in C_{10} .^{Q13} Bovendien zijn de gemeten C_{10} -concentraties in het “gat” honderden malen hoger dan elk niveau dat kan worden verklaard door normale atmosferische chemie. Deze figuur wordt vaak aangeduid als het “doorslaggevende bewijs” dat zelfs voor CFK-fabrikanten aantoonde dat het ozongat geen normaal verschijnsel is. Het is een teken van een sterk verstoorde atmosfeer, veroorzaakt door door de mens geproduceerde chloorhoudende verontreinigende stoffen.

[217] Het duurde enkele jaren voordat wetenschappers een verklaring voor het gat konden geven. In het kort komt het hierop neer.



FIGUUR 5-5 Naarmate reactief chloor toeneemt, neemt de ozonlaag boven Antarctica af

Instrumenten aan boord van het ER-2-onderzoeksvliegtuig van NASA hebben de concentraties van chloormonoxide en ozon gelijktijdig gemeten terwijl het vliegtuig van Punta Arenas, Chili (53°Z.B.) naar 72°Z.B. vloog. De bovenstaande gegevens zijn verzameld op 16 september 1987. Toen het vliegtuig het ozongat binnenvloog, steeg de concentratie chloormonoxide tot vele malen het normale niveau, terwijl de ozonconcentratie sterk daalde. Deze bevinding hielp het bewijs leveren dat chloorhoudende verontreinigende stoffen het ozongat veroorzaakten. (Bron: J. G. Anderson et al.)

Omdat Antarctica door oceanen wordt omringd, kunnen winden ongehinderd door landmassa's rond het continent cirkelen. In de zuidelijke winter vormen ze een circumpolair vortex, een werveling die lucht boven Antarctica vasthoudt en voorkomt dat deze zich met de rest van de atmosfeer vermengt. De vortex creëert een “reactievat” van polaire atmosferische chemicaliën. (Rond de Noordpool is er

geen zo sterke vortex, waardoor het ozongat boven de Noordpool minder uitgesproken is).

In de winter is de stratosfeer boven Antarctica de koudste plek op aarde (tot -90 graden Celsius). In die extreme kou hangt waterdamp als een mist van minuscule ijskristallen. Het ijs fungeert als katalysator; de oppervlakken van deze ontelbare kristallen versterken de chemische reacties die CFK's afbreken en ozonvernietigend chloor vrijgeven.

De chlooratomen die in het donker van de Antarctische winter worden gevormd, komen niet onmiddellijk in de ketting-reactie van ozonvernietiging terecht. In plaats daarvan reageert elk chlooratoom slechts één keer met ozon om ClO te vormen. Twee ClO-moleculen komen samen om een relatief stabiel ClOOC1-dimeer te vormen. Een opeenhoping van deze dimeren bouwt zich op, klaar voor de terugkeer van de zon.^{Q14}

Elk jaar in september of oktober, tijdens de Antarctische lente, breekt de zonnestraling de ClOOC1-moleculen af, waardoor een enorme hoeveelheid Cl vrijkomt die de ozon aantast. De ozonconcentratie daalt sterk.

Geleidelijk aan verdrijft het terugkerende zonlicht de circumpolaire vortex, waardoor de lucht van de Zuidpool zich weer kan vermengen. De ozonarme lucht verspreidt zich over de rest van de wereld, terwijl de ozonconcentratie boven Antarctica weer bijna normaal wordt.

In het noordelijk voorjaar zijn kleinere gaten waargenomen boven de Noordpool. Er worden geen afzonderlijke gaten elders verwacht, maar doordat de gassen in de atmosfeer

zich vermengen, neemt de ozonconcentratie in de stratosfeer boven de hele aarde af. Vanwege de lange levensduur van CFK's en Cl in de atmosfeer zal de afbraak lang duren, minstens een eeuw. Zodra de mensheid de grens overschreed (gedefinieerd door de maximale duurzame uitstoot van CFK's), was een lange periode van minder dan normale bescherming tegen UVB-straling een feit, zelfs als de uitstoot onmiddellijk zou worden stopgezet. Overschrijding was en zal nog lange tijd een realiteit zijn.

De volgende reactie: vertragingen in de praktijk

Er bestaat enige onenigheid onder de mensen die betrokken waren bij de wereldwijde onderhandelingen over de vraag of de aankondiging van het ozongat in 1985 politici evenzeer heeft gemotiveerd als wetenschappers. Er waren al internationale discussies gaande om de productie van CFK's te beperken, maar die hadden nog niet veel opgeleverd. Tijdens een bijeenkomst in Wenen, twee maanden voordat het ozongat werd aangekondigd, werd een optimistische verklaring afgelegd waarin werd gesteld dat landen “passende maatregelen” moesten nemen om de ozonlaag te beschermen, maar er werden geen tijdschema's vastgesteld en geen sancties opgelegd. De industrie had de zoektocht naar vervangingsmiddelen voor CFK's opgegeven, omdat het niet duidelijk was dat deze op korte termijn nodig zouden zijn.^{Q15} Pas drie jaar later zou het ozongat boven Antarctica definitief in verband worden gebracht met CFK's.

Politiek gezien gebeurde er wel iets tussen maart 1985 in

Wenen, toen er geen echte actie werd ondernomen, en september 1987 in Montreal, toen het eerste internationale protocol inzake de ozonlaag werd ondertekend door vertegenwoordigers van 47 landen. Het gat boven Antarctica had zeker een psychologisch effect, misschien wel des te meer omdat het niet werd begrepen. Het stond buiten kijf dat er iets vreemds aan de hand was met de ozonlaag. Hoewel er nog geen bewijs was, was er voldoende wetenschappelijke kennis om CFK's aan te wijzen als de waarschijnlijke boosdoeners.

Bewijs of geen bewijs, er zou waarschijnlijk niets zijn gebeurd zonder het Milieuprogramma van de Verenigde Naties (UNEP), dat het internationale politieke proces organiseerde en stimuleerde. Het personeel verzamelde en interpreteerde het wetenschappelijke bewijs, legde dit voor aan regeringen, creëerde een neutraal platform voor discussies op hoog niveau en trad op als bemiddelaar. Mustafa Tolba, directeur van het UNEP, bleek een bekwaam milieudiplomaat, die neutraal bleef in de vele discussies die ontstonden en iedereen geduldig eraan herinnerde dat geen enkele kortetermijnbelang zo belangrijk was als de integriteit van de ozonlaag van de aarde.

Het onderhandelingsproces was verre van eenvoudig.^{Q16} De regeringen van de wereld werden geconfronteerd met een mondiaal milieuprobleem dat nog niet volledig werd begrepen en nog geen meetbare schade aan de gezondheid of de economie had veroorzaakt. Grote CFK-producerende landen speelden een voorspelbare rol in hun pogingen om beperkingen op het gebruik van CFK's tegen te houden. Cruciale be-

slissingen hingen soms aan een zijden draadje. [219] De Verenigde Staten speelden bijvoorbeeld een sterke leidende rol, die echter meerdere malen bijna werd ondermijnd door diepe verdeeldheid binnen de regering-Reagan. Die verdeeldheid kwam aan het licht toen minister van Binnenlandse Zaken Donald Hodel in het openbaar verklaarde dat de ozonlaag geen probleem zou zijn als mensen gewoon een hoed met brede rand en een zonnebril zouden dragen wanneer ze naar buiten gingen. De internationale spot die deze uitspraak te beurt viel (met onder meer cartoons van koeien, honden, bomen en maïsplanten met hoeden en zonnebrillen op) hielp de leden van de regering die de president ervan wilden overtuigen het ozonprobleem serieus te nemen.

Ondertussen zette het UNEP druk. Terwijl milieugroeperingen in Europa en de Verenigde Staten hun regeringen onder druk zetten, organiseerden wetenschappers workshops om journalisten, parlementariërs en het publiek voor te lichten. Als reactie op de druk van alle kanten ondertekenden de nationale regeringen uiteindelijk – en verrassend snel – in 1987 in Montreal een protocol inzake stoffen die de ozonlaag afbreken.

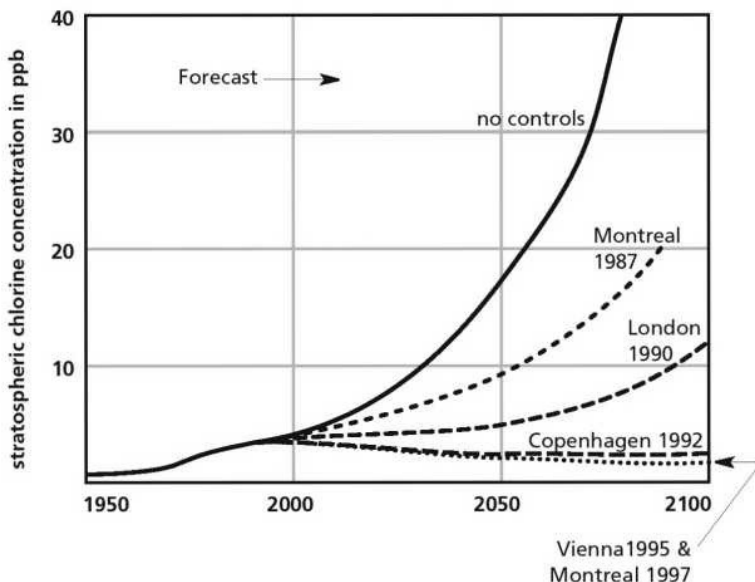
Het Protocol van Montreal bepaalde in de eerste plaats dat de wereldwijde productie van de vijf meest gebruikte CFK's moest worden bevroren op het niveau van 1986. Vervolgens moest de productie met 20 procent worden verminderd tegen 1993 en met nog eens 30 procent tegen 1998. Deze “freeze-20-30”-overeenkomst werd ondertekend door alle grote producenten van CFK's.

Het Protocol van Montreal was historisch en ging veel ver-

der dan wat milieuactivisten destijds politiek haalbaar achtten. Al snel bleek echter dat de daarin vastgelegde vermindering van CFK's niet voldoende was. **Figuur 5-6** laat zien wat er met de concentratie van ozonafbrekend Cl in de stratosfeer zou zijn gebeurd als de uitstoot was verminderd overeenkomstig het Protocol van Montreal (en ook overeenkomstig alle daaropvolgende overeenkomsten, in Londen, Kopenhagen, Wenen en opnieuw in Montreal; hierover later meer). Ondanks de productieverminderingen zouden de grote voorraden CFK's die waren geproduceerd maar nog niet waren vrijgegeven, en die wel waren vrijgegeven maar nog niet de stratosfeer hadden bereikt, de Cl-concentratie blijven verhogen.

De redenen voor de zwakte van de overeenkomst waren begrijpelijk. De meeste industrialiserende landen hebben niet ondertekend. China probeerde bijvoorbeeld miljoenen huishoudens van hun eerste koelkasten te voorzien, wat een enorme nieuwe vraag naar freon met zich meebracht. De Sovjet-Unie aarzelde en zei dat haar vijfjarenplan geen snelle verandering in de productie van CFK's toestond. Zij eiste en kreeg een langzamer afbouwschema. De meeste industriële producenten van CFK's hoopten nog steeds ten minste een deel van hun markt te behouden.

Binnen een jaar na de ondertekening van het Protocol van Montreal werd echter een nog grotere afbraak van de ozonlaag gemeten en werd het “rookwolkbewijs” gepubliceerd. Op dat moment kondigde DuPont aan dat het de productie van CFK's volledig zou stopzetten.



FIGUUR 5-6 Verwachte groei van de concentraties van anorganisch chloor en broom in de stratosfeer als gevolg van CFK-emissies

Voortijdige en verwachte concentraties van chloor en broom in de stratosfeer bij verschillende beleidsmaatregelen: geen protocol, volgens de oorspronkelijke bepalingen van het Protocol van Montreal en volgens latere aanvullende overeenkomsten. Als de productie van CFK's op het niveau van 1986 was gebleven, zou de concentratie van chloor in de stratosfeer in 2050 acht keer zo hoog zijn geweest. Het eerste Protocol van Montreal legde lagere emissieniveaus vast, maar zou nog steeds een exponentiële stijging van de chloorniveaus hebben toegestaan. De Overeenkomst van Londen schafte het gebruik van CFK's grotendeels, maar niet volledig af; dit zou nog steeds hebben geleid tot een stijging van de chloorniveaus vanaf ongeveer 2050. Latere overeenkomsten hebben de beperkingen op het gebruik van chloorhoudende chemicaliën geleidelijk aangescherpt, waardoor de chloorniveaus in de stratosfeer na 2000 naar verwachting zullen dalen. (Bronnen: WMO; EPA; R.E. Bendick.)

In 1989 verklaarden de Verenigde Staten en de Europese Unie dat zij tegen het jaar 2000 de productie van de vijf meest voorkomende CFK's zouden stopzetten. Zij riepen de wereld op om de bepaling in het Montreal Protocol toe te passen die voorzag in een periodieke herbeoordeling van de ozonstatus en, indien nodig, strengere maatregelen.

[221] Na verdere onderhandelingen, opnieuw onder leiding van het UNEP, kwamen regeringen van 92 landen in 1990 in Londen bijeen en kwamen zij overeen om de productie van CFK's tegen het jaar 2000 volledig af te bouwen. Zij voegden aan de lijst van te verbieden stoffen methylchloroform, tetrachloorkoolstof en halonen toe, eveneens ozonafbrekende chemicaliën. Verschillende industrialiserende landen weigerden te ondertekenen tenzij er een internationaal fonds werd opgericht om hen te helpen bij de technische omschakeling naar alternatieven voor CFK's. Toen de Verenigde Staten weigerden bij te dragen aan dat fonds, mislukte de overeenkomst bijna, maar uiteindelijk werd het fonds toch opgericht. De ontwikkeling van chloor (en broom, een andere ozonafbrekende chemische stof) in de stratosfeer die naar verwachting het gevolg zou zijn van het Akkoord van Londen, is weergegeven in **figuur 5-6**.

In het voorjaar van 1991 bleek uit nieuwe satellietmetingen boven het noordelijk halfrond dat de afbraak van de ozonlaag ongeveer twee keer zo snel verliep als verwacht. Boven dichtbevolkte gebieden in Noord-Amerika, Europa en Centraal-Azië hielden de verlaagde ozonniveaus zich voor het eerst ook in de zomer, wanneer stralingsschade zowel mensen als gewassen kan schaden. Later in de jaren negentig

werden zelfs in Spanje, ver ten zuiden van de VS, ondergemiddelde ozonniveaus gemeld.

Als gevolg van dit alarmerende nieuws besloten veel landen, met Duitsland voorop, de productie van CFK's en halonen nog sneller uit te faseren dan in het Verdrag van Londen was vastgelegd. Veel multinationals, met name in de elektronica- en auto-industrie, volgden dit voorbeeld. Sommige ontwikkelingslanden, zoals Mexico, kondigden aan dat zij geen gebruik zouden maken van hun uitstelperiode van tien jaar, maar hetzelfde reductieschema zouden volgen als de geïndustrialiseerde landen. Geleidelijk aan volgden alle andere landen, waaronder China en India, en momenteel is de productie gepland om in 2010 volledig te worden stopgezet.

Tijdens nog een onderhandelingsronde, in Kopenhagen in 1992, kwamen de ondertekenaars van het Protocol van Montreal overeen om de uitfasering nogmaals te versnellen: de nieuwe productie van halonen moest in 1994 worden stopgezet en die van CFK's in 1996, en er moest een plafond worden ingesteld voor de uitstoot van het bodembesmettingsmiddel methylbromide, een krachtige ozonafbrekende stof die in Londen nog niet eens was besproken. Volgens de toen beschikbare atmosferische modellen zou de “aanscherping” van Kopenhagen de ozonlaag tien jaar eerder dan de maatregelen van Londen (in 2045 in plaats van 2055) terugbrengen tot het niveau van 1980. Dit zou het cumulatieve ozonverlies met 28 procent verminderen en 4,5 miljoen gevallen van huidkanker en 350.000 gevallen van blindheid voorkomen.^{Q17} Later werd duidelijk dat de “aanscherping” van Kopenhagen in feite noodzakelijk was om überhaupt

een vermindering van de chloor-/broomconcentratie te bereiken (zie **figuur 5-6**).

[222] In 1996 hadden 157 landen zich aangesloten bij deze aangescherpte overeenkomst. Er kon weinig meer worden gedaan. In 1997, tien jaar na het eerste protocol, werden in Montreal enkele kleine aanpassingen aan de overeenkomst aangebracht. In de Wetenschappelijke beoordeling van de ozonlaag 1998 (uitgevoerd onder auspiciën van de Wereld Meteorologische Organisatie en het UNEP)^{Q18} werd opgemerkt dat “op basis van eerdere emissies van ozonafbrekende stoffen en een prognose van de maximale toegestane hoeveelheden in de toekomst volgens het Protocol van Montreal, de maximale ozonafbraak naar schatting binnen dit decennium of de komende twee decennia zal plaatsvinden”. Vier jaar later, in de wetenschappelijke beoordeling van 2002, werd gesteld: “De ozonconcentraties boven Antarctica zullen tegen 2010 toenemen. Naar verwachting zullen de ozonconcentraties halverwege deze eeuw weer op het niveau van vóór 1980 liggen.”^{Q19} Het was te laat om de piekjaaren van de ozonafbraak – van 1995 tot 2010 – nog te beïnvloeden, omdat de chemische stoffen die deze zouden veroorzaken al langzaam naar de stratosfeer waren opgestegen. Om er zeker van te zijn dat de piek ook echt een piek was en dat de ozonlaag zich uiteindelijk zou herstellen, was het vooral zaak het protocol uit te voeren en te handhaven. De Conferentie van de Partijen bij het Protocol van Montreal bleef bijeenkomen en verbeterde de overeenkomst: zo kwamen de deelnemers in 1999 in Peking overeen om het multilaterale fonds te verhogen dat ontwikkelingslanden helpt

hun deadlines te halen. Momenteel worden andere stoffen aan het regime toegevoegd en wordt de handel in ozonafbrekende stoffen verboden.

In 2000 was de wereldwijde productie van “CFK-gassen” gedaald van het hoogtepunt in 1988 van meer dan een miljoen ton tot minder dan 100.000 ton per jaar (figuur 5-1).^{Q20} De industrie had zich aan de uitfasering van deze belangrijke chemicaliën aangepast met veel minder kosten en verstoring dan iedereen had verwacht toen de internationale onderhandelingen begonnen. (De uiteindelijke kosten, inclusief de kosten van de onderhandelingen en de handhaving, worden geschat op 40 miljard dollar.^{Q21}) Aangezien CFK's ook broeikasgassen zijn, die duizenden malen krachtiger zijn dan kooldioxide, zal de uitfasering ervan ook bijdragen tot een vertraging van de wereldwijde klimaatverandering. Een minder schadelijk alternatief, HCFC's genaamd, wordt nog steeds geproduceerd in een hoeveelheid van een half miljoen ton per jaar (figuur 5-1).

[223] Ondertussen bleef het nieuws uit de stratosfeer binnenstromen, in stukjes en beetjes. In 1995 en 1996 bereikte de ozonconcentratie boven de Noordpool nieuwe historische dieptepunten, waaronder een korte daling van 45 procent boven Siberië. Het verlies van de ozonlaag in de noordelijke breedtegraden bedroeg in de winter en het voorjaar van 1998 gemiddeld 6 tot 7 procent. In het najaar van 1998 was het ozongat boven de Zuidpool groter en dieper dan ooit tevoren was waargenomen^{Q22} – totdat dezelfde beweringen werden gedaan in 2000 en vervolgens in 2003. En hoewel de groei van het ozongat steeds langzamer ging, kon de

WMO in haar wetenschappelijke evaluatie van 2002 nog niet zeggen of het gebied van het ozongat boven Antarctica zijn maximale omvang had bereikt, hoewel zij wel overeenkwam dat de ozonlaag zich in de komende 50 jaar langzaam zou herstellen.^{Q23}

De ozonlaag zal in de eerste twee decennia van de eenen-twintigste eeuw in zijn meest kwetsbare toestand blijven. Als het Protocol van Montreal en de daaropvolgende overeenkomsten worden nageleefd, als de illegale productie wordt stopgezet en als er geen grote vulkaanuitbarstingen plaatsvinden (die ook voor korte periodes de ozonlaag in de stratosfeer kunnen uitputten), zou de ozonlaag rond het jaar 2050 ongeveer in zijn oorspronkelijke staat moeten terugkeren.

Een smet op dit mooie plaatje is de toename van de smokkel van CFK's. Hoewel de regeringen van de Verenigde Staten en Europa zowel de productie als de invoer van nieuw geproduceerde CFK's verboden, waren veel burgers bereid een hoge prijs te betalen om de airconditioning van hun auto of hun koelinstallaties bij te vullen. In de Verenigde Staten werd de prijs nog verder opgedreven door een hoge accijns op nieuwe CFK's, die bedoeld was om recycling te stimuleren. Landen die op grond van de verdragen tot 2010 CFK's mochten blijven produceren (voornamelijk Rusland, China en India) konden de verleiding van een lucratieve markt moeilijk weerstaan. Smokkelaars gebruiken trucs zoals het vals etiketteren van nieuwe CFK's als gerecycled.

Ondanks dit en andere kleine problemen heeft de wereld grotendeels consensus bereikt over het probleem en enorme

voortuitgang geboekt bij de implementatie van oplossingen. Het heeft meer dan 25 jaar geduurd, maar een succesvolle aanpak van de overschrijding is duidelijk mogelijk.

Leven zonder CFK's

[224] Terwijl de diplomatieke inspanningen voortduurden, bedacht de industrie manieren om de uitstoot van bestaande CFK's te verminderen en vervangingsmiddelen te gebruiken. Een derde van het probleem is opgelost door besparingen, simpelweg door de behoefte aan chemicaliën te verminderen. Zo kan bijvoorbeeld betere isolatie de behoefte aan koeling verminderen. En door chemicaliën te recycelen voor hergebruik kan de uitstoot worden verminderd. Een derde van de oplossing berust op het tijdelijke gebruik van vervangingsmiddelen, zoals gehydrogeneerde CFK's, HCF-K's genaamd, die slechts 2 tot 10 procent zo schadelijk zijn voor de ozonlaag. Deze stoffen moeten tegen 2030 worden uitgefaseerd, wat tijd geeft om meer permanente oplossingen te vinden. Het laatste derde deel is bereikt door over te schakelen op alternatieven die de ozonlaag helemaal niet schaden.

Door het verbod in de Verenigde Staten in 1978 waren fabrikanten al overgestapt op andere soorten drijfgassen voor spuitbussen, die meestal goedkoper waren dan CFK's. Zoals atmosferisch chemicus Mario J. Molina zei: "Toen de Verenigde Staten in 1978 het gebruik van CFK's als drijfgas in spuitbussen verbood, zeiden deskundigen dat veel mensen hun baan zouden verliezen. Dat is niet gebeurd."^{Q25} Koelmiddelen in koelkasten en airconditioners kwamen vroeger

in de lucht terecht wanneer deze apparaten werden gerepareerd of weggegooid. Nu worden deze koelmiddelen door recyclingapparaten opgevangen, gezuiverd en hergebruikt. In de Verenigde Staten wordt de recycling van CFK's – en ook het repareren van lekken – gestimuleerd door een aanzienlijke belasting, waardoor recycling rendabel is. Een huidige uitdaging is om de veilige vervangingsmiddelen tijdens het recyclingproces gescheiden te houden van hun ozonafbrekende voorgangers.

Elektronica- en luchtvaartbedrijven hebben vervangende oplosmiddelen ontwikkeld voor het reinigen van printplaten en vliegtuigonderdelen, waarvan sommige eenvoudige wateroplossingen zijn. Ze hebben ook de productieprocessen aangepast om wasstappen volledig te elimineren, wat aanzienlijke economische besparingen oplevert. Bedrijven uit de Verenigde Staten en Japan hebben een coalitie gevormd om hun onderzoek naar deze aanpassingen gratis te delen met elektronicafabrikanten over de hele wereld.^{Q26}

[225] Chemische bedrijven zijn begonnen met de verkoop van gehydrogeneerde CFK's en andere nieuwe verbindingen ter vervanging van CFK's voor specifieke toepassingen. Autoairconditioners bevatten nu een CFK-ervanger genaamd HFC-134a. De extra kosten van dit nieuwe koelmiddel bedragen niet de voorspelde 1.000 tot 1.500 dollar per auto, maar eerder 50 tot 150 dollar. Isolierend plastic schuim wordt nu geïnjecteerd met andere gassen; hamburgers worden verpakt in papier of karton in plaats van in CFK-houdend plastic; milieubewuste consumenten gebruiken afwasbare keramische koffiekopjes in plaats van wegwerpbekers

van plastic.

Telers van snijbloemen in Colombia ontdekten dat ze geïntegreerde plaagbestrijding konden toepassen in plaats van de grond te steriliseren met methylbromide. Keniaanse boeren zijn koolstofdioxide gaan gebruiken in plaats van methylbromide om opgeslagen granen te ontsmetten. Tabakstelers in Zimbabwe hebben gewisselteelt geprobeerd in plaats van methylbromide. Een studie van het UNEP concludeerde dat 90 procent van het gebruik van methylbromide kan worden vervangen door andere maatregelen voor ongediertebestrijding, vaak tegen lagere kosten.

De moraal van het verhaal

Een rapport van 350 wetenschappers uit 35 landen, gecoördineerd door de Wereld Meteorologische Organisatie in 1999, geeft een consensus over de vooruitzichten voor de ozonlaag.

De afbraak van de ozonlaag door door de mens geproduceerde chloor- en broomverbindingen zal naar verwachting geleidelijk verdwijnen tegen het midden van de eenentwintigste eeuw, aangezien deze verbindingen langzaam uit de stratosfeer worden verwijderd door natuurlijke processen. Deze milieuprestatie is te danken aan de baanbrekende internationale overeenkomst om de productie en het gebruik van ozonafbrekende stoffen te beperken.^{Q27}

Er kunnen veel lessen worden getrokken uit het ozonverhaal, afhankelijk van uw wereldbeeld en politieke voorkeu-

ren. Dit zijn de lessen die wij zien:

- Regelmatige monitoring van belangrijke kenmerken van het milieu is essentieel, evenals een snelle en eerlijke rapportage van de resultaten.
- Politieke wil kan op internationale schaal worden opgebracht om menselijke activiteiten binnen de grenzen van de aarde te houden.
- Internationale overeenstemming om toekomstige schade aan het milieu te voorkomen vereist doorgaans zowel de instrumenten als de wil om langetermijnprognoses te maken.
- Mensen en naties hoeven geen volmaakte heiligen te worden om effectieve internationale samenwerking op moeilijke terreinen tot stand te brengen; evenmin is perfecte kennis of wetenschappelijk bewijs noodzakelijk om actie te ondernemen.
- Er is geen wereldregering nodig om mondiale problemen aan te pakken, maar wel mondiale wetenschappelijke samenwerking, een mondiaal informatiesysteem, een internationaal forum waar specifieke afspraken kunnen worden gemaakt, en internationale samenwerking om die afspraken te handhaven.
- Wetenschappers, technologen, politici, bedrijven en consumenten kunnen snel reageren wanneer zij dat nodig achten, maar niet onmiddellijk.
- Sombere voorspellingen van de industrie over de economische gevolgen van het naleven van milieuregels zijn wellicht overdreven. Dit kan het gevolg zijn van opzettelijke verdraaiingen om politieke veranderingen te vertragen.

Het is echter waarschijnlijker dat dit voortkomt uit een systematische onderschatting van het vermogen tot technologische vooruitgang en sociale verandering.

- Wanneer de kennis onvolledig is, moeten milieuovereenkomsten flexibel worden opgesteld en regelmatig worden herzien. Er is voortdurende monitoring nodig om het probleem in de gaten te houden, indien nodig aanpassingen te doen en verbeteringen in kaart te brengen. Ga er nooit vanuit dat een mondiaal probleem voorgoed is opgelost.
- Alle actoren in het ozonakkoord waren belangrijk en zullen opnieuw nodig zijn: een internationale onderhandelaar zoals het UNEP; enkele nationale regeringen die bereid zijn het politieke voortouw te nemen; flexibele en verantwoordelijke bedrijven; wetenschappers die kunnen en willen communiceren met beleidsmakers; milieuactivisten om druk uit te oefenen; consumenten die bereid zijn hun productkeuzes aan te passen op basis van milieu-informatie; en technische experts die innovaties bedenken die het leven mogelijk, comfortabel en winstgevend kunnen maken, zelfs wanneer het moet worden aangepast om de impact van de mens binnen de grenzen te houden.
- Natuurlijk zien we in het ozongeschiedenis ook alle ingrediënten van een systeem dat overschreden wordt en instort: exponentiële groei, een erodeerbare milieugrens en lange reactietijden, zowel fysiek als politiek. Het duurde 13 jaar vanaf de eerste wetenschappelijke waarschuwingen in 1974 tot de ondertekening van het Protocol van Montreal in 1987, en nog eens 13 jaar vanaf de eerste ondertekening totdat het aangescherpte protocol in 2000 volledig moest worden geïmplementeerd. Het kan nog langer duren om de resterende niet-meewerkende partijen, frau-

deurs en smokkelaars op te sporen. Het zal meer dan een eeuw duren voordat het chloor na 2050 volledig uit de stratosfeer is verdwenen.

Dit is een verhaal over overschrijding. En een verhaal over hoe de mensheid langzaam terugkeert naar duurzaam gedrag. Iedereen hoopt dat het geen verhaal over instorting wordt. Of dat zo zal zijn, hangt af van hoe omkeerbaar de schade aan de ozonlaag is en of er in de toekomst nog verrassingen in de atmosfeer zullen optreden. Het hangt ook af van het vermogen om waakzaam te blijven en pogingen van belangengroepen en hun politici om vrijstellingen van het verbod op ozonafbrekende chemicaliën te verkrijgen, te blokkeren. Als aan die voorwaarden wordt voldaan, kan de opkomst en ondergang van het ozongat in de stratosfeer als inspiratie dienen voor de inspanningen om andere mondiale grenzen aan te pakken.

HOOFDSTUK – 6

TECHNOLOGIE, MARKTEN EN OVERSCHRIJDING

Alles wijst erop dat we de bijdrage van technologisch genie consequent hebben overschat en de bijdrage van natuurlijke hulpbronnen hebben onderschat.... We hebben behoefte aan ... iets wat we in onze haast om de wereld te veranderen zijn kwijtgeraakt: een besef van grenzen, een bewustzijn van het belang van de hulpbronnen van de aarde.

-STEWART UDALL, 1980

De *homo sapiens* leeft al 100.000 jaar op aarde. Mensen bewerken het land en organiseren zich in steden sinds ongeveer 10.000 jaar. Sinds ongeveer 300 jaar maken ze een snelle exponentiële groei door van de bevolking en het kapitaal. In de afgelopen eeuwen hebben spectaculaire technische en institutionele innovaties – de stoommachine, de computer, de onderneming, internationale handelsovereenkomsten en vele andere veranderingen – ervoor gezorgd dat de menselijke economie de schijnbare fysieke en bestuurlijke grenzen heeft overschreden en is blijven groeien. Vooral in de afgelopen decennia heeft de groeiende industriële cultuur in bijna elke gemeenschap op aarde het verlangen naar en de verwachting van voortdurende materiële groei gewekt.

Het idee dat er grenzen aan de groei zouden kunnen zijn, is voor veel mensen onvoorstelbaar. Grenzen zijn politiek onbespreekbaar en economisch ondenkbaar. De cultuur neigt de mogelijkheid van grenzen te ontkennen door een diep geloof te stellen in de kracht van technologie, het functioneren van een vrije markt en de groei van de economie als oplossing voor alle problemen, zelfs de problemen die door de groei zelf worden veroorzaakt.

De meest voorkomende kritiek op het oorspronkelijke World3-model was dat het de kracht van technologie onderschatte en dat het de adaptieve veerkracht van de vrije markt onvoldoende weergeeft. Het is waar dat we in het oorspronkelijke World3-model geen technologische vooruitgang hebben meegenomen die alle problemen die gepaard gaan met exponentiële groei automatisch zou oplossen. in de ecologische voetafdruk van de mens. [204] Dat kwam omdat we niet geloofden – en nog steeds niet geloven – dat een dergelijke enorme technologische vooruitgang vanzelf zal plaatsvinden, noch door de onbelemmerde werking van “de markt”. Indrukwekkende – en zelfs voldoende – technologische vooruitgang is denkbaar, maar alleen als gevolg van vastberaden maatschappelijke beslissingen en de bereidheid om die beslissingen met daden en geld te ondersteunen. Zelfs dan zal de gewenste technologie pas na aanzienlijke vertraging beschikbaar komen. Dit is ons huidige beeld van de werkelijkheid, net als 30 jaar geleden. Dit beeld komt tot uiting in World3.^{Q1}

=====

Twintig jaar geleden spraken sommigen over grenzen aan de groei. Maar vandaag de dag weten we dat groei de motor van verandering is. Groei is de vriend van het milieu.

President George H. W. Bush, 1992

Dit is mijn langetermijnprognose in het kort: de materiële levensomstandigheden zullen voor de meeste mensen, in de meeste landen, het grootste deel van de tijd, voor onbepaalde tijd blijven verbeteren. Binnen een eeuw of twee zullen alle landen en het grootste deel van de mensheid het huidige westerse levenspeil hebben bereikt of overtroffen. Ik vermoed echter ook dat veel mensen zullen blijven denken en zeggen dat de levensomstandigheden verslechteren.

Julian Simon, 1997

In 1972 publiceerde de Club van Rome "*Limits to Growth*" (Grenzen aan de groei), waarin de duurzaamheid van economische en bevolkingsgroei in twijfel werd getrokken. "*Limits to Growth*" schatte dat we nu een daling zouden zien in de voedselproductie, de bevolking, de beschikbaarheid van energie en de levensverwachting. Geen van deze ontwikkelingen is zelfs maar begonnen, en er is ook geen direct vooruitzicht dat ze zich zullen voordoen. De Club van Rome had het dus mis...

ExxonMobile, 2002

=====

Technologische vooruitgang en de markt komen op vele manieren tot uiting in het model. In World3 gaan we ervan uit dat markten functioneren om beperkt investeringskapitaal vrijwel zonder vertraging te verdelen over concurrerende behoeften.^{Q2} Sommige technische verbeteringen zijn in het model ingebouwd, zoals geboortebeperking, vervanging van hulpbronnen en de groene revolutie in de landbouw. [230] In verschillende scenario's testen we versnelde technologische vooruitgang en mogelijke toekomstige technische sprongen die verder gaan dan deze 'normale' verbeteringen. Wat als materialen bijna volledig worden gerecycled? Wat als de opbrengst van land nogmaals verdubbelt? Wat als de uitstoot de komende eeuw met 4 procent per jaar wordt verminderd?

Zelfs met dergelijke aannames neigt de modelwereld zijn grenzen te overschrijden. Zelfs met de meest effectieve technologieën en de grootste economische veerkracht die wij voor mogelijk houden, neigt het model, als dat de enige veranderingen zijn, scenario's van ineenstorting te genereren.

In dit hoofdstuk leggen we uit waarom. Voordat we verder gaan, moeten we echter erkennen dat we hier te maken hebben met kwesties die niet alleen onderwerp zijn van wetenschappelijk onderzoek, maar ook geloofskwesties zijn. Als we suggereren dat technologie of markten problemen of beperkingen hebben, zullen sommigen ons als ketters beschouwen en zeggen dat we tegen technologie zijn.

Dat is gewoon niet waar. Donella behaalde haar doctoraat aan de Harvard University; Dennis en Jorgen behaalden beiden een doctoraat aan het Massachusetts Institute of Technology – beide instellingen zijn toonaangevend op het gebied van de ontwikkeling van nieuwe technologieën. We hebben allemaal een diep respect en een groot enthousiasme voor de kracht van de wetenschap om de problemen van de mensheid op te lossen. Een kleine herinnering aan de wonderbaarlijke kracht van technische vooruitgang wordt ons geboden door ons werk aan deze reeks boeken. In 1971 schreven we *The Limits to Growth* op elektrische typemachines, tekenden we grafieken met de hand en hadden we een enorme mainframecomputer nodig om World3 te draaien. Het kostte 10 tot 15 minuten om één scenario te genereren. In 1991 hebben we het model herzien, een nieuw boek geschreven, grafieken en diagrammen gemaakt en de pagina's op desktopcomputers opgemaakt. Het genereren van een scenario van World3 over 200 gesimuleerde jaren kostte drie tot vijf minuten. In 2002 konden we het World3-model op laptops draaien, via internet samenwerken aan de herziening van het boek en al onze resultaten op een cd-rom opslaan. Nu duurt het ongeveer vier seconden om het model te draaien. We rekenen op technische efficiëntie om de ecologische voetafdruk van de mensheid op elegante wijze en met minimale offers terug te brengen tot onder de grenzen van de aarde.

We zijn ook niet tegen de markt. We begrijpen en respecteren de capaciteiten van de markt. Twee van ons hebben een doctoraat van een vooraanstaande business school; Jorgen

was acht jaar lang voorzitter van de Norwegian School of Management. [231] Dennis was zestien jaar lang lid van de faculteit van de Tuck School of Business in Dartmouth. We zitten in de raad van bestuur van hightechbedrijven. We hebben allemaal uit eerste hand de moeilijkheden en absurditeiten van centraal geplande economieën ervaren. We rekenen op verbeteringen in marktsignalen en in technologieën om een productieve en welvarende duurzame samenleving tot stand te brengen. Maar we hebben geen vertrouwen en we hebben geen objectieve basis om te verwachten dat technologische vooruitgang of markten op zichzelf, onveranderd en zonder begrip, respect of commitment voor duurzaamheid, een duurzame samenleving kunnen creëren.

Ons genuanceerde vertrouwen in technologie en markten is gebaseerd op ons begrip van systemen. Het komt voort uit de discipline om in niet-lineaire, op feedback gebaseerde modellen precies uit te drukken wat technologie is en wat markten doen. Wanneer men deze systemen concreet moet modelleren, in plaats van er algemene uitspraken over te doen, ontdekt men hun functies en krachten in het economische systeem, maar ook hun beperkingen.

In dit hoofdstuk zullen we:

- Technologie en marktfeedbackprocessen beschrijven zoals wij die begrijpen en hebben gemodelleerd in World3.
- Computermodellen laten zien waarin we uitgaan van steeds effectievere technologieën om beperkingen te overwinnen.

- Uitleggen waarom overschrijding en ineenstorting nog steeds de dominante gedragspatronen zijn in deze modellen.
- Afsluiten met twee korte casestudy's, één over olie en één over visserij, die aantonen dat technologieën en markten in de huidige wereld geen garantie bieden voor een soepele overgang naar duurzaamheid.

Technologie en markten in de ‘echte wereld’

Wat is technologie “echt”? Is het het vermogen om elk probleem op te lossen, de fysieke manifestatie van het inventieve genie van de mensheid? Is het een gestage exponentiële toename van de hoeveelheid die kan worden geproduceerd per uur arbeid of per eenheid kapitaal, de beheersing van de natuur? Is het de controle van sommige mensen over andere mensen met behulp van de natuur als instrument?^{Q3} Menselijke mentale modellen bevatten al deze concepten van technologie, en meer.

Wat is de markt ‘echt’? Sommigen zouden zeggen dat het gewoon de plaats is waar kopers en verkopers samenkomen om ruilprijzen vast te stellen die de relatieve waarde van goederen weergeven. Anderen zouden zeggen dat de vrije markt een fictie is die door economen is uitgevonden. Sommigen die nooit een markt zonder bureaucratische controle hebben meegemaakt, zijn gaan denken dat het een magische instelling is die op de een of andere manier in overvloed consumptiegoederen levert. Is de markt het recht en het vermogen om kapitaal privé te bezitten en de opbrengsten te

behouden? Of is het de meest efficiënte manier om de producten van de samenleving te verdelen? Of is het een middel waarmee sommige mensen andere mensen controleren met geld als instrument?

Wij geloven dat de volgende processen deel uitmaken van het model dat mensen meestal voor ogen hebben wanneer ze zeggen dat technologie en markten de grenzen van de groei kunnen opheffen:

- Er doet zich een probleem voor dat verband houdt met grenzen: een hulpbron wordt schaars of een verontreinigende stof begint zich op te hopen.
- De markt zorgt ervoor dat de prijs van de schaarse grondstof stijgt ten opzichte van andere grondstoffen, of de vervuilende stof begint kosten te veroorzaken die worden weerspiegeld in stijgende prijzen van producten of diensten die deze vervuilende stof produceren. (Hier wordt meestal erkend dat de markt aanzienlijk moet worden gecorrigeerd om de kosten van “externe effecten” zoals vervuiling te weerspiegelen.)
- De stijgende prijs leidt tot reacties. Het loont voor geologen om meer van de hulpbron te gaan zoeken, voor biologen om meer te kweken, of voor chemici om de hulpbron te synthetiseren. Het zorgt ervoor dat fabrikanten de schaarse hulpbron vervangen door een hulpbron die in overvloed aanwezig is en meer gaan recyclen. Het dwingt consumenten om minder producten te gebruiken die de hulpbron bevatten of om de hulpbron efficiënter te gebruiken. Het zet ingenieurs ertoe aan apparatuur te ontwikkelen om vervuiling tegen te gaan, plaatsen te zoeken om verontreinigende stoffen op te slaan of productieprocessen

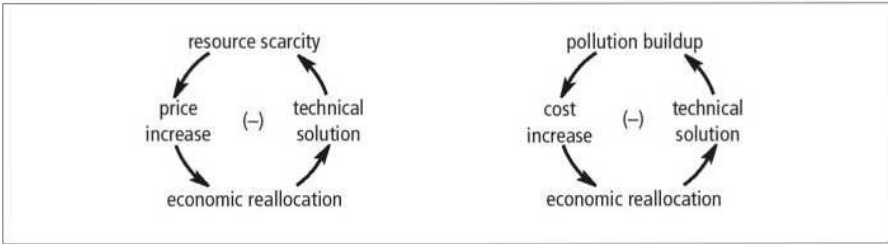
uit te vinden waarbij geen verontreinigende stoffen vrijkomen.

- Deze reacties aan zowel de vraag- als de aanbodzijde concurreren op de markt, waar de wisselwerking tussen kopers en verkopers bepaalt welke technologieën en consumptiepatronen het probleem het snelst en het meest efficiënt oplossen tegen de laagste kosten.
- Uiteindelijk wordt het probleem “opgelost”. Het systeem heeft die specifieke schaarste overwonnen of de schade door die verontreinigende stof verminderd.
- Dit alles is haalbaar tegen een prijs die de samenleving bereid is te betalen en gebeurt snel genoeg om onherstelbare schade te voorkomen.

[233] Dit model is niet uitsluitend gebaseerd op technologie of uitsluitend op de markt, maar gaat ervan uit dat er een soepele, effectieve interactie tussen beide zal zijn. De markt is nodig om het probleem aan te geven, middelen naar de oplossing ervan te leiden en de beste oplossing te selecteren en te belonen. De technologie is nodig om het probleem op te lossen. Het geheel moet goed functioneren. Zonder signalen van de markt zal de technologie niet komen. Zonder technische vindingsrijkheid zullen de signalen van de markt geen resultaat opleveren.

Merk ook op dat dit model de vorm heeft van een negatieve feedbackloop, een keten van oorzaken die een verandering omkeert, een probleem corrigeert en het evenwicht herstelt. De schaarste aan hulpbronnen wordt overwonnen. De ver-

vuiling wordt opgeruimd of opgeslagen. De samenleving kan blijven groeien.



Negatieve feedbackloops

Wij geloven dat dergelijke aanpassingsloops bestaan en belangrijk zijn. We hebben ze op veel plaatsen in World3 opgenomen, maar niet als één enkele, geaggregeerde, wonderbaarlijke variabele die ‘technologie’ wordt genoemd. Technologieën ontstaan op veel plaatsen in het model en hebben veel effecten. Verbeteringen in de gezondheidszorg zijn bijvoorbeeld automatisch in World3. Ze worden gegenereerd en verhogen de levensverwachting wanneer de dienstensector van de gesimuleerde wereld ze kan betalen. Technologie voor geboortebeperring verschijnt in World3 wanneer het gezondheidszorgsysteem dit kan ondersteunen en wanneer de wens voor kleinere gezinnen dit vereist. Verbeteringen in de landopbrengst zijn ook automatisch in World3, zolang de vraag naar voedsel niet wordt bevredigd en er kapitaal beschikbaar is.

Als niet-hernieuwbare hulpbronnen schaars worden, wijst de economie van World3 meer kapitaal toe aan het ontdekken en exploiteren ervan. We gaan ervan uit dat de oorspronkelijke niet-hernieuwbare hulpbronnen volledig kun-

nen worden gebruikt, maar naarmate de hulpbronnen uitgeput raken, is er steeds meer kapitaal nodig om de resterende hulpbronnen te vinden en te winnen. [234] We gaan er ook van uit dat niet-hernieuwbare hulpbronnen perfect onderling vervangbaar zijn, zonder kosten of vertraging. Daarom voegen we ze allemaal samen zonder onderscheid te maken.

Door de cijfers in het model te wijzigen, kunnen we deze veronderstelde aanpassingen van de markt en de technologie versterken of verzwakken. Als we de cijfers niet wijzigen, evolueren deze technologieën in de gesimuleerde wereld in ongeveer dezelfde stadia van industriële productie per hoofd van de bevolking als waarin ze in de huidige sterk geïndustrialiseerde landen zijn verschenen.

In World3 wordt de behoefte aan de ingebouwde technologieën – gezondheidszorg, geboortebeperking, verbetering van de landbouw, ontdekking en vervanging van hulpbronnen – perfect en zonder vertraging doorgegeven aan de kapitaalsector. Kapitaal wordt onmiddellijk aan die behoefte toegewezen, zolang er voldoende industriële of dienstverlenende productie is om dat mogelijk te maken. We geven geen expliciete prijzen weer, omdat we ervan uitgaan dat prijzen tussentijdse signalen zijn in een aanpassingsmechanisme dat onmiddellijk en perfect werkt. We geven het mechanisme (“schaarste leidt tot een technische reactie”) weer zonder tussenkomst van een prijs. Die aanname laat veel vertragingen en onnauwkeurigheden weg die in “echte” marktsystemen voorkomen.

Een aantal andere technologieën in World3 worden pas effectief als we ze in testscenario's inschakelen. Het gaat on-

der meer om efficiënt gebruik van hulpbronnen en recycling, bestrijding van vervuiling, onconventionele verhoging van de landopbrengst en bestrijding van bodemerosie. Toen we het model voor het eerst bouwden, beschouwden we deze technologieën nog niet als zo gevestigd dat ze technisch bewezen waren en gemakkelijk konden worden toegepast door iedereen in de wereld die ervoor kon betalen.⁴ We hebben ze daarom zo geprogrammeerd dat ze op elk moment in de simulatie kunnen worden geactiveerd als een discontinue stap die redelijk lijkt voor de gebruiker van het model. Men zou bijvoorbeeld kunnen aannemen dat de hele wereld in 2005 een grote inspanning zou leveren op het gebied van recycling of in 2015 een gezamenlijke inspanning zou leveren om vervuiling tegen te gaan. In de huidige versie van World3 worden deze technologieën gemodelleerd als “adaptieve technologieën”, die geleidelijk evolueren wanneer er in de gesimuleerde wereld behoefte is aan meer hulpbronnen, minder vervuiling of meer voedsel.⁵ Het is echter aan de gebruiker van het model om de kracht van deze technologische reacties te bepalen. Deze “turn-on”-technologieën vereisen kapitaal en worden pas na een ontwikkelings- en implementatievertraging, die normaal gesproken op 20 jaar is vastgesteld, in gebruik genomen.

Een van de redenen om een computermodel te gebruiken is om verschillende aannames uit te proberen en verschillende toekomsten te verkennen. [235] We kunnen bijvoorbeeld kijken naar scenario 2, de laatste run die we in hoofdstuk 4 hebben laten zien, waarin de groei werd beëindigd door een vervuilingscrisis, en ons afvragen: wat als die gesimuleerde

wereld op de stijgende vervuilingcurve had gereageerd door eerder en vastberadener te investeren in technologie voor vervuilingsbeheersing? Scenario 3, **figuur 6-1**, laat zien wat er met die verandering gebeurt.

De grenzen verleggen met technologie in Wereld 3

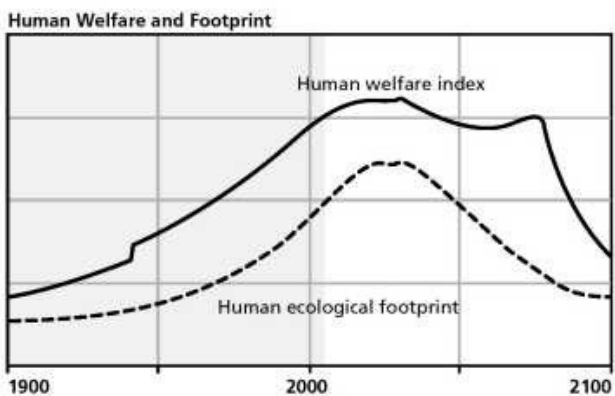
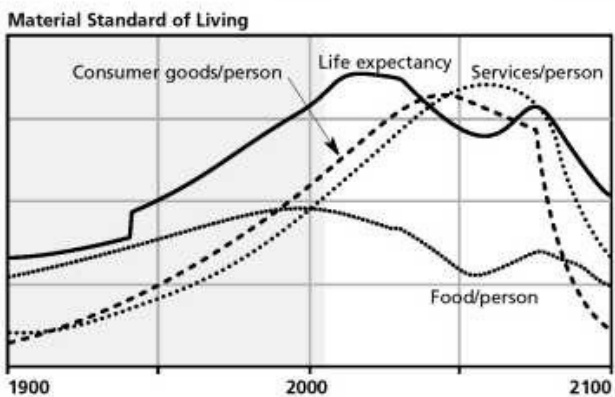
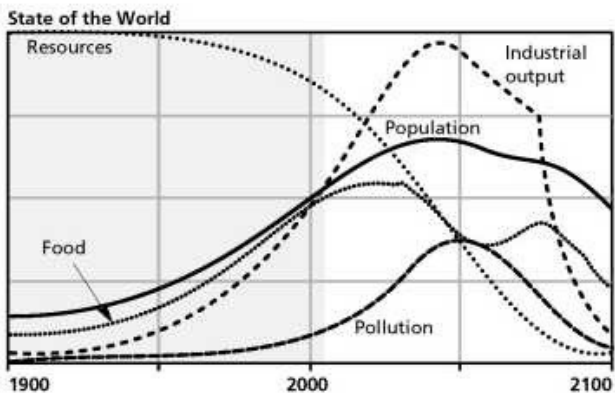
In scenario 3 en alle verdere computersimulaties in dit boek gaan we uit van dezelfde grote hoeveelheid niet-hernieuwbare hulpbronnen en dezelfde geavanceerde winningstechnologieën als in scenario 2. Concreet betekent dit dat we ervan uitgaan dat er in het jaar 2000 voldoende niet-hernieuwbare hulpbronnen beschikbaar zijn om 150 jaar lang te voorzien in de consumptie van dat jaar. De hulpbronnen worden verkregen tegen jaarlijkse kosten van ongeveer 5 procent van de industriële productie van de samenleving. Scenario 2 vormt dus de basis voor de vergelijking van de technologische en beleidswijzigingen die volgen

We passen de veranderingen één voor één toe – eerst technologie voor verontreinigingsbeheersing, dan technologie voor landopbrengst, enzovoort – niet omdat we denken dat de wereld waarschijnlijk slechts één technologie tegelijk zal toepassen, maar omdat die voortgang de reacties van het model begrijpelijker maakt. In ons eigen werk met World3 passen we, zelfs als we drie veranderingen tegelijk willen uitproberen, deze één voor één toe, zodat we het effect van elke verandering afzonderlijk kunnen begrijpen voordat we de gecombineerde, op elkaar inwerkende effecten van alle veranderingen tegelijk proberen te begrijpen.

Voor veel economen is technologie een enkele exponent in een variant van de Cobb-Douglas-productiefunctie: het werkt automatisch, zonder vertraging, zonder kosten, zonder beperkingen en levert alleen maar gewenste resultaten op. Geen wonder dat economen zo enthousiast zijn over het potentieel ervan om menselijke problemen op te lossen! In de “echte wereld” kunnen we echter geen technologie vinden met die prachtige eigenschappen. [237] De technologieën die we zien, zijn zeer specifiek voor bepaalde problemen; ze kosten geld en het duurt lang om ze te ontwikkelen. Zodra ze in het laboratorium zijn bewezen, zijn er nog meer vertragingen om het kapitaal, de arbeidskrachten, het verkoop- en servicepersoneel, de marketing- en financieringsmechanismen te ontwikkelen die nodig zijn om ze op grote schaal in gebruik te nemen. Vaak hebben ze negatieve, vertraagde en onvoorziene neveneffecten. En de beste technologieën worden angstvallig bewaakt door degenen die er octrooien op hebben, vaak tegen hoge prijzen en met restrictieve distributieovereenkomsten.

FIGUUR 6-1 Scenario 3: Beter toegankelijke niet-hernieuwbare hulpbronnen en technologie voor verontreinigingsbeheersing

In dit scenario gaan we uit van dezelfde ruime beschikbaarheid van hulpbronnen als in scenario 2, evenals van steeds effectievere technologieën voor verontreinigingsbeheersing, die de hoeveelheid verontreiniging per eenheid productie vanaf 2002 met maximaal 4 procent per jaar kunnen verminderen. Dit leidt na 2040 tot een veel hoger welzijn voor meer mensen, omdat de negatieve effecten van verontreiniging minder groot zijn. Maar de voedselproductie neemt uiteindelijk toch af, waardoor kapitaal uit de industriële sector wordt onttrokken en een ineenstorting wordt veroorzaakt.



Scenario 3

In World3 is het niet mogelijk, noch zinvol, om technologie in al haar diversiteit weer te geven. In plaats daarvan hebben we het proces van technologische vooruitgang op het gebied van verontreinigingsbeperking, hulpbronnengebruik en landopbrengst weergegeven aan de hand van drie samenvattende parameters voor elke sector: het uiteindelijke doel, de jaarlijkse verbeteringsgraad in het meest succesvolle laboratorium en de gemiddelde vertraging tussen de beschikbaarheid in het laboratorium en het wijdverbreide gebruik in de praktijk. Bij de beschrijving van elk scenario geven we aan welke technologieën zijn geactiveerd. Voor de overige simulaties gaan we ervan uit dat wanneer dat nodig is, de technologie in het laboratorium met maximaal 4 procent per jaar kan worden verbeterd. We gaan ervan uit dat het gemiddeld 20 jaar duurt voordat een nieuwe technologie vanuit het laboratorium algemeen wordt verspreid naar het mondiale productiekapitaal. **Tabel 6-1** illustreert de gevolgen van deze aannames voor de uitstoot van persistente verontreinigende stoffen in scenario 3.

[238] Stel dat een bepaalde voorraad landbouw- en industrieel kapitaal in het jaar 2000 1000 eenheden persistente verontreiniging uitstoot. Als de technologie met 4 procent per jaar verbetert en de verspreiding gemiddeld 20 jaar duurt, zou in 2020 slechts 900 eenheden persistente verontreiniging worden geproduceerd door dezelfde kapitaalvoorraad. De emissies zouden tegen 2040 met bijna de helft dalen en tegen 2100 tot slechts 5 procent van hun oorspronkelijke waarde. In Wereld 3 worden, wanneer de respectieve technologieën worden toegepast, vergelijkbare voordelen be-

haald voor de landopbrengst en de efficiëntie van het grondstoffengebruik.

TABEL 6-1 Invloed van technologie op de uitstoot van persistente verontreiniging in de wereld

Year	Percent Reduction
2000	0%
2020	10%
2040	48%
2060	75%
2080	89%
2100	95%

Wanneer de technologie in het laboratorium met 4 procent per jaar kan worden verbeterd en met een gemiddelde vertraging van 20 jaar in het mondiale kapitaal kan worden geïmplementeerd, is het mogelijk om de uitstoot snel te verminderen ten opzichte van het normale niveau. De tabel toont de procentuele vermindering die wordt bereikt in scenario 3 van World3, nadat de bevolking in het model in het jaar 2002 begint met het verminderen van de vervuiling met het maximale tempo dat door de technologische vooruitgang mogelijk is.

In scenario 3 gaan we ervan uit dat in het gesimuleerde jaar 2002, voordat het wereldwijde vervuilingsniveau zo hoog is gestegen dat het grote schade toebrengt aan de gezondheid of de gewassen, de wereld besluit de vervuiling terug te brengen tot het niveau van het midden van de jaren zeventig en systematisch kapitaal aan dat doel te besteden. Er wordt gekozen voor een “*end of pipe*”-benadering, waarbij de vervuiling op het punt van uitstoot wordt teruggedrongen in

plaats van de doorvoer aan de bron te verminderen. De emissies worden verminderd zoals weergegeven in **tabel 6-1**, met een daarmee gepaard gaande stijging van de kapitaal-investeringen met maximaal 20 procent. Tegen het jaar 2100 wordt het verontreinigingsniveau teruggebracht tot het relatief lage niveau van het begin van de eenentwintigste eeuw.

In dit scenario blijft de verontreiniging ondanks het bestrijdingsprogramma bijna 50 jaar lang stijgen, zowel door vertragingen bij de uitvoering als door de aanhoudende onderliggende groei van de industriële productie. Het verontreinigingsniveau blijft echter veel lager dan in scenario 2. Het wordt nooit zo hoog dat het de gezondheid van de mens in gevaar brengt, en daarom slaagt deze “wereldwijde strijd tegen verontreiniging” erin het tijdperk van hoge bevolkingsaantallen en hoge welvaart in wezen met nog een generatie te verlengen. De goede tijden eindigen in 2080, 40 jaar later dan in scenario 2, gemeten aan de hand van de menselijke welzijnsindex, die op dat moment plotseling daalt. Maar de vervuiling heeft al eerder in de eeuw een negatief effect op de bodem. De opbrengsten dalen niet onmiddellijk, omdat de afname van de bodemvruchtbaarheid gedeeltelijk wordt gecompenseerd door het gebruik van extra landbouwinputs. Voorbeelden van dit fenomeen in de “echte wereld” zijn het gebruik van kalk om zure regen te compenseren, het gebruik van meststoffen ter vervanging van de verminderde nutriëntenproducerende capaciteit van bodemmicroben die door pesticiden zijn vergiftigd, en het gebruik van irrigatie om de onregelmatige regenval als gevolg van klimaatverandering te compenseren.

De tegengestelde trends van afnemende bodemvruchtbaarheid en toenemend gebruik van landbouwinputs in scenario 3 leiden tot een in wezen stabiele voedselproductie tussen het gesimuleerde jaar 2010 en 2030. De bevolking blijft echter groeien, waardoor de voedselproductie per hoofd van de bevolking begint te dalen. [239] Maar gedurende enkele decennia blijft de productie van de industrie en de dienstensector voldoende hoog om een aanvaardbare levensstandaard te handhaven, ondanks de noodzaak van kapitaalinvesteringen in de landbouw en, later, in de bestrijding van vervuiling. In het laatste derde deel van de eenentwintigste eeuw is de vervuiling zo sterk afgenomen dat de bodemvruchtbaarheid zich herstelt. Maar de bevolkingsdruk is groot en de hoeveelheid landbouwgrond neemt af als gevolg van stedelijke wildgroei en erosie. Bovendien daalt de industriële productie na het midden van de eeuw snel, omdat er zoveel kapitaal naar de landbouw- en vervuilingsector is gehaald dat er niet langer voldoende investeringen zijn om de waardevermindering te compenseren. De economie krimpt en er treedt een ineenstorting op, die aan het einde van de eeuw wordt verergerd door een toenemende schaarste aan niet-hernieuwbare hulpbronnen.

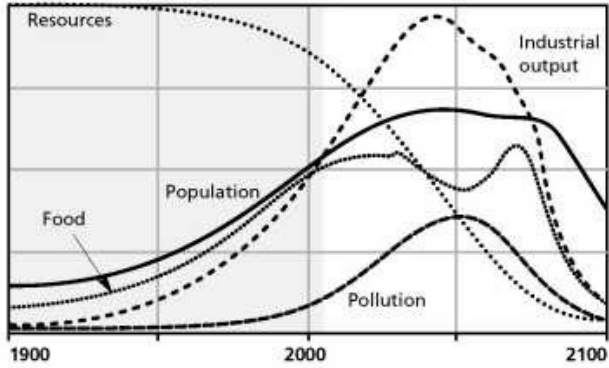
De samenleving in scenario 3 vermindert haar vervuilingsniveau aanzienlijk en slaagt erin om gedurende lange tijd een hoge index voor menselijk welzijn te handhaven. Maar uiteindelijk wordt voedsel een probleem. Scenario 3 kan worden omschreven als een “voedselcrisis”. In het “echte leven” zouden natuurlijk maatregelen worden genomen om de voedselvoorziening op het gewenste niveau te houden.

Wat zou er kunnen gebeuren als de samenleving haar technologische krachten zou inzetten om meer voedsel te produceren? Een mogelijk resultaat wordt weergegeven in scenario 4, **figuur 6-2**.

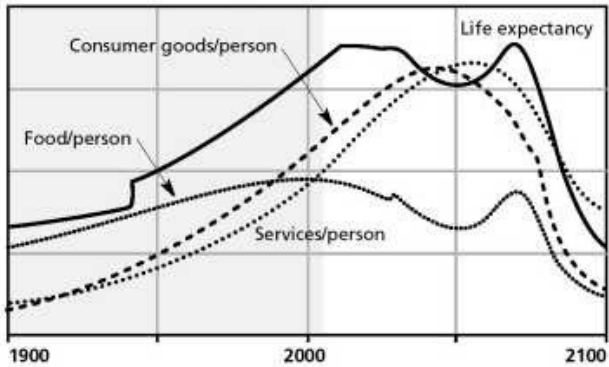
In deze variant wordt het programma voor vervuilingsbestrijding van scenario 3 opnieuw geactiveerd. Tegelijkertijd besluit de modelmaatschappij in 2002 om agressief te reageren op de stagnatie van de voedselproductie per hoofd van de bevolking die zich in de jaren negentig in het modelsysteem heeft voorgedaan. Investerings worden verschoven naar technologieën die de landbouwopbrengst moeten verhogen. Er wordt aangenomen dat het gemiddeld twintig jaar duurt voordat de nieuwe technologieën wereldwijd op de akkers zijn geïmplementeerd en dat ze de opbrengst met maximaal 4 procent per jaar verhogen, wanneer dat nodig is. De investeringen in technologie verhogen de kapitaalkosten met 6 procent in 2040 en met maar liefst 8 procent in 2100. Tot 2050 is er niet veel toename van de opbrengst, omdat er nog steeds voldoende voedsel is. Maar in de tweede helft van de eeuw stijgen de gemiddelde opbrengsten dramatisch als gevolg van de exponentiële aard van de veronderstelde technologische vooruitgang.

FIGUUR 6-2 Scenario 4: beter toegankelijke niet-hernieuwbare hulpbronnen, technologie voor verontreinigingsbeheersing en verbetering van de landopbrengst *Als de modelwereld aan haar technologie voor verontreinigingsbeheersing een reeks technologieën toevoegt om de voedselopbrengst per eenheid land aanzienlijk te verhogen, versnelt de hoge landbouwintensiteit het verlies aan land. De boeren in de wereld proberen uiteindelijk steeds meer voedsel uit steeds minder land te halen. Dit blijkt onhoudbaar.*

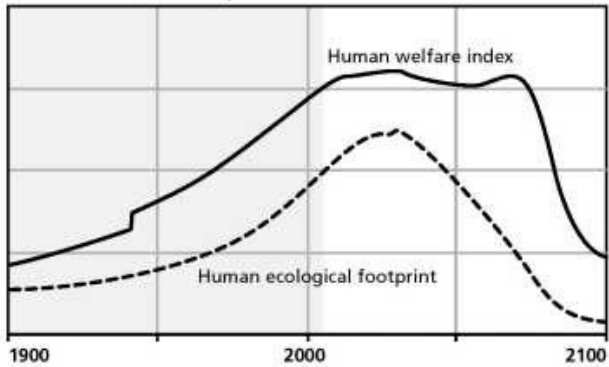
State of the World



Material Standard of Living



Human Welfare and Footprint



Scenario 4

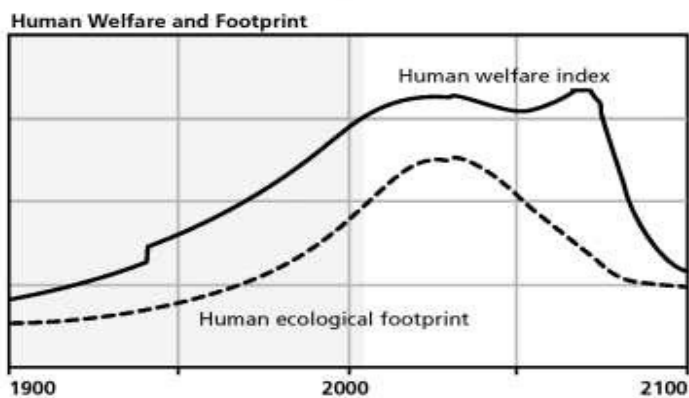
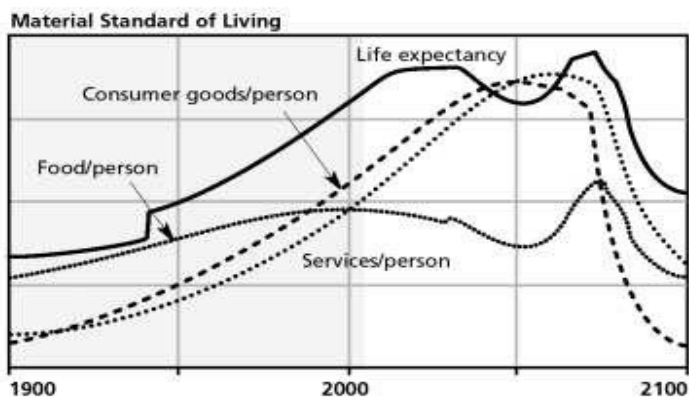
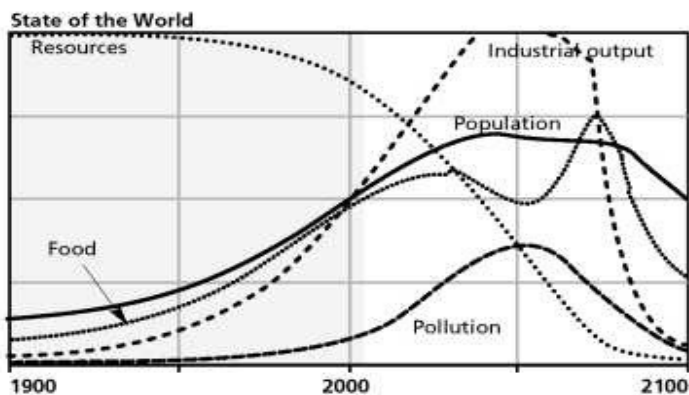
Het resultaat is een lange periode van hoge bevolkingsaantallen en een hoog welzijn rond het midden van de eenentwintigste eeuw. De nieuwe landbouwtechnologie helpt de voedselproductie vanaf 2050 te verhogen (in vergelijking met scenario 3), maar lost het voedselprobleem niet op. [216] De verslechtering van de bodemvruchtbaarheid en het verlies van landbouwgrond door erosie en stedelijke en industriële expansie wegen uiteindelijk zwaarder dan het positieve effect van nieuwe technologieën op de opbrengst, en de totale voedselproductie daalt na 2070. De hoge landbouwintensiteit in deze gesimuleerde wereld leidt tot galopperende bodemerosie – niet alleen verlies van bodem, maar ook verlies van voedingsstoffen, bodemverdichting, verzilting en andere processen die de productiviteit van de grond verminderen.

Met minder land werken boeren om nog hogere opbrengsten uit het resterende land te halen. De toegenomen intensiteit van het gebruik veroorzaakt nog meer erosie, in een positieve spiraal die het landsysteem naar beneden haalt. Scenario 4 zou een “landerosiecrisis” kunnen worden genoemd, die na 2070 tot een catastrofale daling van de hoeveelheid landbouwgrond leidt. De daling kan niet tijdig worden tegengegaan door hoogproductieve landbouwtechnologie, en voedseltekorten leiden tot een daling van de bevolking. De onderdruk staande landbouwsector onttrekt steeds meer kapitaal en menselijke hulpbronnen aan de economie, terwijl de afnemende niet-hernieuwbare hulpbronnen ook kapitaal vragen. Vóór 2100 vindt een vrijwel totale ineenstorting plaats.

Geen enkele verstandige samenleving zou een landbouw-technologie nastreven die de opbrengsten verhoogt en tegelijkertijd het land vernietigt. Helaas zijn er in de wereld van vandaag voorbeelden van dit gedrag (bijvoorbeeld het land dat verloren is gegaan door zoutophoping in de Central Valley in Californië, terwijl het nabijgelegen land tegelijkertijd tot steeds hogere opbrengsten wordt gedreven). Maar laten we uitgaan van een grotere rationaliteit van de komende generaties. Laten we naast de technologieën voor verontreinigingsbeheersing en opbrengstverhoging ook technologieën voor landbescherming toevoegen. **Scenario 5, figuur 6-3**, toont de resultaten van al deze veranderingen die tegelijkertijd plaatsvinden.

Hier gaan we ervan uit dat vanaf 2002, naast de reeds beschreven technologieën voor verontreinigingsbeperking en opbrengstverhoging, een programma wordt uitgevoerd om de wereldwijde bodemerosie te verminderen. Zoals u zich herinnert, gaan we ervan uit dat de eerste twee programma's extra kapitaalinvesteringen vereisen. Maar we gaan ervan uit dat het derde programma dat niet vereist, omdat het voornamelijk zorgvuldiger landbouwtechnieken vereist om de productieve levensduur van de bodem te verlengen.

FIGUUR 6-3 Scenario 5: Beter toegankelijke niet-hernieuwbare hulpbronnen, technologie voor verontreinigingsbeheersing, verbetering van de landopbrengst en bescherming tegen bodemerosie *Nu wordt een technologie voor bodembescherming toegevoegd aan de reeds bestaande maatregelen voor verbetering van de landbouwopbrengst en vermindering van de verontreiniging. Het resultaat is een lichte uitstel van de ineenstorting aan het einde van de eenentwintigste eeuw.*



Scenario 5

Dit programma heeft pas na 2050 significante positieve effecten, wanneer de bodemerosie drastisch wordt verminderd als gevolg van betere landbouwtechnieken. Hierdoor kan de periode van hoog menselijk welzijn na 2070 enigszins worden verlengd. Maar het resultaat is niet duurzaam. Scenario 5 eindigt in een ineenstorting die wordt veroorzaakt door een combinatie van crises op het gebied van hulpbronnen, voedsel en hoge kosten, die min of meer tegelijkertijd plaatsvinden. Tot ongeveer 2070 blijft het gemiddelde welzijn van de mens relatief hoog, ondanks onaangename ups en downs in de verschillende componenten ervan. Er is ongeveer voldoende voedsel (hoewel weinig in het midden van de eeuw), de vervuiling is aanvaardbaar (hoewel vrij hoog in het midden van de eeuw), de economie groeit (ten minste tot 2050), diensten worden beter beschikbaar en de levensverwachting blijft boven de 70 jaar. Maar na 2070 vragen de kosten van de verschillende technologieën, plus de stijgende kosten voor het winnen van niet-hernieuwbare grondstoffen uit steeds verder uitgeputte mijnen, meer kapitaal dan de economie kan bieden. Het resultaat is een vrij abrupte neergang. Scenario 5 kan worden omschreven als een optelsom van vele crises.

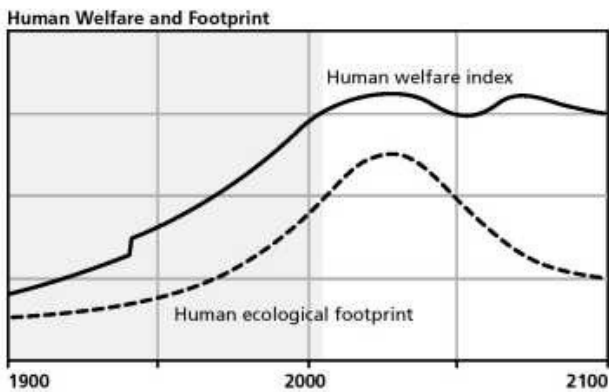
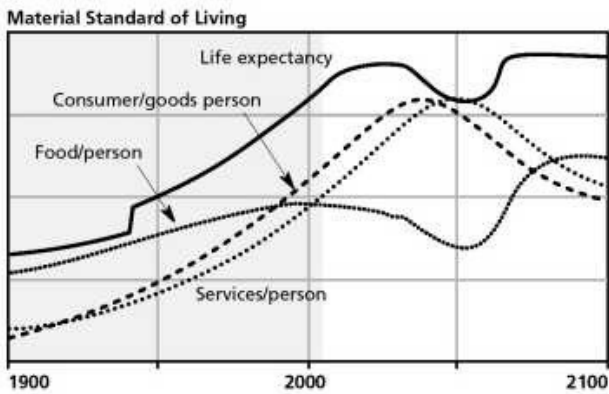
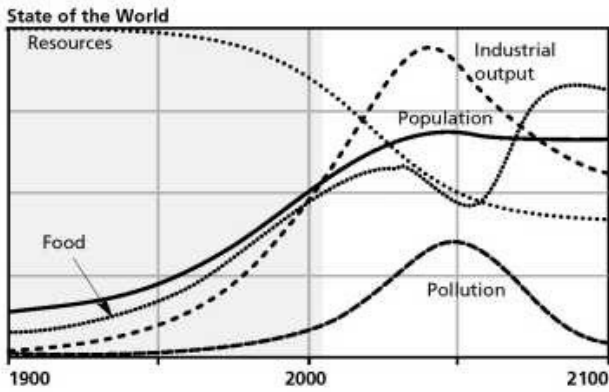
Men kan discussiëren over welke prioriteit een samenleving die op zoveel manieren onder druk staat, als eerste zou laten vallen. Zou zij het land laten eroderen, de vervuiling laten toenemen of zich tevredenstellen met minder grondstoffen? World3 gaat ervan uit dat materialen en brandstoffen een hoge prioriteit zouden krijgen om de industriële productie op peil te houden die nodig is om de investeringen in de an-

dere economische sectoren te ondersteunen. Die specifieke keuze en het exacte modelgedrag nadat het investeringskapitaal ontoereikend wordt, zijn niet belangrijk. We pretenderen niet te kunnen voorspellen wat de wereld zou doen als het daadwerkelijk zo ver zou komen; we besteden geen aandacht aan de modelruns na het punt waarop een belangrijke variabele snel begint te dalen. Het belangrijke punt is dat een dergelijke situatie mogelijk is en dat de samenleving hiermee wel eens geconfronteerd zou kunnen worden.

Als de schaarste aan niet-hernieuwbare hulpbronnen de genadeslag is die de ineenstorting in scenario 5 veroorzaakt, dan zou een programma van hulpbronnenbesparende technologieën, als aanvulling op alle andere maatregelen, kunnen helpen. Scenario 6, figuur 6-4, toont het resultaat.

FIGUUR 6-4 Scenario 6: beter toegankelijke niet-hernieuwbare hulpbronnen, technologie voor verontreinigingsbeheersing, verbetering van de landopbrengst, bescherming tegen bodemerosie en technologie voor efficiënt gebruik van hulpbronnen

Nu ontwikkelt de gesimuleerde wereld krachtige technologieën voor verontreinigingsbeperking, verbetering van de landopbrengst, bodembescherming en behoud van niet-hernieuwbare hulpbronnen, en dat allemaal tegelijk. Al deze technologieën brengen kosten met zich mee en het duurt 20 jaar voordat ze volledig zijn geïmplementeerd. In combinatie maken ze een vrij grote en welvarende gesimuleerde wereld mogelijk, totdat het geluk begint af te nemen als reactie op de opgebouwde kosten van de technologieën.



Scenario 6

[245] We starten in het gesimuleerde jaar 2002 een programma om de hoeveelheid niet-hernieuwbare hulpbronnen die per eenheid industriële output nodig is, met maximaal 4 procent per jaar te verminderen.

We handhaven de technologische programma's voor verbetering van de verontreinigingsbeheersing, verhoging van de landopbrengst en vermindering van de bodemerosie. Kortom, dit komt neer op een formidabel 21e-eeuws programma voor verhoogde eco-efficiëntie, met aanzienlijke kosten (de kapitaalkosten zijn 20 procent hoger in 2050 en 100 procent hoger rond 2090), maar met als doel een aanzienlijke vermindering van de ecologische voetafdruk van de mens.

Deze krachtige combinatie van technologieën helpt de ineenstorting in scenario 5 in het laatste derde deel van de 21e eeuw te voorkomen. Maar het technologieprogramma komt net iets te laat om een geleidelijke achteruitgang van het menselijk welzijn in het laatste derde deel van de eeuw te voorkomen. De bevolking daalt niet significant, maar de levensverwachting daalt rond 2050. Tegelijkertijd, wanneer de vervuiling zo hoog wordt dat de vruchtbaarheid van de grond afneemt, is de voedselproductie laag; dat effect wordt uiteindelijk echter overwonnen door stijgende landbouwopbrengsten en technologieën voor vervuilingsbestrijding. Niet-hernieuwbare hulpbronnen raken langzamer uitgeput; hun kosten blijven laag. Aan het einde van een turbulente 21e eeuw leeft een stabiele bevolking van iets minder dan acht miljard mensen in een hightech, weinig vervuilde wereld met een menselijk welzijnsindex die ongeveer gelijk is aan die van de wereld in 2000. De levensverwachting en de

voedselproductie per hoofd van de bevolking zijn hoger, de beschikbaarheid van diensten is gelijk, maar de consumptiegoederen per hoofd van de bevolking zijn lager dan aan het begin van de eeuw. De industriële productie begint rond 2040 te dalen omdat de stijgende kosten voor de bescherming van de bevolking tegen honger, vervuiling, erosie en grondstoffenschaarste een deel van het voor groei beschikbare kapitaal opslokken. De dienstverlening per persoon en het niveau van de materiële consumptie beginnen kort daarna te dalen. Uiteindelijk slaagt deze gesimuleerde wereld er niet in haar levensstandaard op peil te houden omdat technologie, sociale voorzieningen en nieuwe investeringen tegelijkertijd te duur worden – een kostencrisis.

Enkele disclaimers

Na een sessie met een model, computer of mentaal, is het een goed idee om even afstand te nemen en te bedenken dat we niet de “echte wereld” hebben ervaren, maar een weergave die in sommige opzichten “realistisch” is en in andere opzichten ‘onrealistisch’. [246] De taak is om in het model inzicht te vinden in de kenmerken van de scenario's die “realistisch” lijken. Het is ook belangrijk om te beoordelen in hoeverre de onzekerheden of bewuste vereenvoudigingen van het model de lessen die we eruit kunnen trekken, beperken. Na de voorgaande reeks computersimulaties moeten we even pauzeren en ons perspectief herwinnen.

We moeten niet vergeten dat World3 geen onderscheid maakt tussen de rijke en arme delen van de wereld. Alle signalen van honger, schaarste van hulpbronnen en vervuiling

worden verondersteld de hele wereld te bereiken en reacties uit te lokken die een beroep doen op het reactievermogen van de wereld als geheel. Die vereenvoudiging maakt het model erg optimistisch. In de ‘echte wereld’ zullen er, als honger vooral in Afrika voorkomt, vervuilingscrises vooral in Midden-Europa plaatsvinden, bodemdegradatie vooral in de tropen voorkomt en de mensen die als eerste met problemen te maken krijgen, degenen zijn met de minste economische of technische mogelijkheden om te reageren, zeer lange vertragingen optreden voordat problemen worden verholpen. Daarom zal het ‘echte’ systeem mogelijk niet zo krachtig of succesvol reageren als het World3-systeem.

De perfect functionerende markt en de soepele, succesvolle technologieën (zonder verrassende neveneffecten) van het model zijn ook erg optimistisch. Dat geldt ook voor de aanname dat politieke beslissingen zonder kosten en zonder vertraging worden genomen. We moeten ook bedenken dat het World3-model geen militaire sector heeft die kapitaal en middelen onttrekt aan de productieve economie. Er zijn geen oorlogen die mensen doden, kapitaal vernietigen, land verwoesten of vervuiling veroorzaken. Er zijn geen etnische conflicten, stakingen, corruptie, overstromingen, aardbevingen, vulkaanuitbarstingen, nucleaire ongelukken, aids-epidemieën of onverwachte milieurampen. Daarom is het in veel opzichten buitengewoon optimistisch. Het model vertegenwoordigt de hoogste mogelijkheden voor de ‘echte wereld’.

Aan de andere kant zouden sommige mensen zeggen dat de technologieën in het model te beperkt zijn. Deze critici zou-

den de technologische raderen in het model veel sneller laten draaien of zelfs zonder beperkingen (zoals in ons scenario 0). Onze aannames over ontginningsbare hulpbronnen, ontwikkelbare grond en absorbeerbare vervuiling zijn misschien te laag. Of misschien zijn ze te hoog. We hebben geprobeerd ze “realistisch” te maken, gegeven de gegevens waarover we beschikken en onze eigen inschatting van de technische mogelijkheden.

Gezien al deze onzekerheden mogen we de curven in de verschillende scenario's natuurlijk niet bestuderen met de veronderstelling dat ze kwantitatief nauwkeurig zijn. We vinden het bijvoorbeeld niet significant dat in scenario 3 een voedselcrisis optreedt vóór een grondstoffencrisis. Het zou gemakkelijk andersom kunnen zijn. [247] We voorspellen geen industriële neergang vanaf 2040, zoals in scenario 6. De beschikbare cijfers zijn gewoonweg niet goed genoeg voor World3, of welk ander model dan ook, om op die manier geïnterpreteerd te worden.

Wat kunnen we dan wel leren van deze modeloefeningen?

Waarom technologie en markten alleen overschrijding niet kunnen voorkomen

De voorgaande tests kunnen worden samengevat door te zeggen dat de ecologische voetafdruk van de mens de neiging heeft om boven het duurzame niveau uit te groeien, wat op zijn beurt een gedwongen afname van de voetafdruk veroorzaakt. Normaal gesproken gaat deze daling gepaard met een verlaging van de gemiddelde levensstandaard, door

een lagere beschikbaarheid van voedsel, minder industriële of dienstverlenende goederen per wereldinwoner, of een hoger vervuilingsniveau in het menselijk milieu. De normale reactie van de mens is om te proberen de beperking weg te nemen, in de hoop de groei van de bevolking en de economie te kunnen voortzetten.

Een les uit de zes voorgaande runs is dat in een complexe, eindige wereld, als je één grens wegneemt of verhoogt en blijft groeien, je een andere grens tegenkomt. Vooral als de groei exponentieel is, zal de volgende grens verrassend snel opduiken. Er zijn verschillende lagen van grenzen. World3 bevat er slechts een paar. De “echte wereld” bevat er veel meer, waarvan de meeste duidelijk, specifiek en lokaal zijn. Slechts enkele beperkingen, zoals die welke verband houden met de ozonlaag of het klimaat van de planeet, zijn echt mondiaal.

We zouden verwachten dat verschillende delen van de “echte wereld”, als ze blijven groeien, in verschillende volgorde en op verschillende tijdstippen tegen verschillende beperkingen aanlopen. Maar de ervaring van opeenvolgende en meervoudige beperkingen zou zich volgens ons op elke plaats op vrijwel dezelfde manier ontfouwen als in World3. En in een steeds meer verweven wereldeconomie zendt een samenleving die ergens onder druk staat, golven uit die overal voelbaar zijn. Bovendien vergroot de globalisering de kans dat delen van de wereld die actief handel met elkaar drijven, veel van hun grenzen min of meer tegelijkertijd bereiken.

De voorgaande experimenten tonen ook aan dat het moge-

lijk is om de ecologische voetafdruk van de mens te verkleinen door de ontwikkeling en het gebruik van technologieën die het materiaal- en energieverbruik van de industrie en de landbouw verminderen. [248] Wanneer deze technologieën op grote schaal kunnen worden toegepast, maken ze een hogere gemiddelde levensstandaard mogelijk binnen dezelfde voetafdruk. Dit is de veelgeprezen dematerialisatie van de moderne wereldeconomie.

Een tweede les is dat hoe succesvoller de samenleving haar grenzen uitstelt door economische en technische aanpassingen, hoe groter de kans is dat ze tegelijkertijd tegen meerdere grenzen aanloopt. In de meeste World3-simulaties, waaronder veel die we hier niet hebben getoond, raakt het wereldsysteem niet volledig uitgeput wat betreft land, voedsel, hulpbronnen of het vermogen om vervuiling op te vangen. Wat wel uitgeput raakt, is het vermogen om het hoofd boven water te houden.

Het vermogen om het hoofd boven water te houden wordt in World3 te simplistisch weergegeven door de hoeveelheid industriële output die elk jaar beschikbaar is om te investeren in het oplossen van problemen. In de “echte wereld” zijn er nog veel andere factoren die het vermogen om het hoofd boven water te houden bepalen: het aantal opgeleide mensen, hun motivatie, de mate van politieke aandacht en intentie, het financiële risico dat kan worden gedragen, het institutionele vermogen om nieuwe technologieën te ontwikkelen, te verspreiden en te onderhouden, het managementvermogen, het vermogen van de media en politieke leiders om gefocust te blijven op cruciale problemen, de consensus onder kie-

zers over belangrijke prioriteiten, de mate waarin mensen vooruitkijken om problemen te anticiperen. Al deze capaciteiten kunnen in de loop van de tijd groeien, als de samenleving investeert in de ontwikkeling ervan. Maar op elk moment zijn ze beperkt. Ze kunnen maar een bepaalde hoeveelheid verwerken en aan. Wanneer problemen exponentieel en in veelvoud ontstaan, kunnen problemen die in theorie één voor één kunnen worden opgelost, het vermogen om ze het hoofd te bieden overweldigen.

Tijd is in feite de ultieme beperking in het World3-model – en, naar onze mening, ook in de ‘echte wereld’. Als we genoeg tijd hebben, geloven we dat de mensheid bijna onbeperkte probleemoplossende capaciteiten heeft. Groei, en vooral exponentiële groei, is zo verraderlijk omdat het de tijd voor effectieve actie verkort. Het belast een systeem steeds sneller, totdat de copingmechanismen die bij een langzamer tempo van verandering voldoende waren, uiteindelijk beginnen te falen.

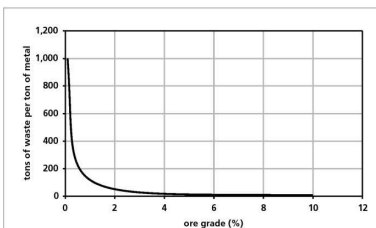
Er zijn nog drie andere redenen waarom technologie en marktmechanismen die anders goed functioneren, de problemen die worden veroorzaakt door een samenleving die in exponentieel tempo op onderling verbonden grenzen afstevent, niet kunnen oplossen. Deze hebben te maken met doelstellingen, kosten en vertragingen. De eerste reden is dat markten en technologieën slechts instrumenten zijn die ten dienste staan van de doelstellingen, de ethiek en de tijds-horizon van de samenleving als geheel. [249]

Als de impliciete doelstellingen van een samenleving zijn om de natuur uit te buiten, de elite te verrijken en de lange

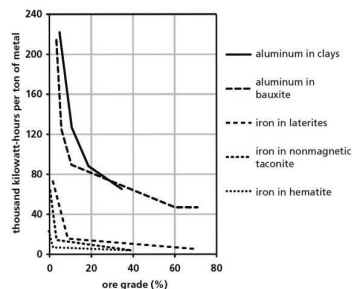
termijn te negeren, dan zal die samenleving technologieën en markten ontwikkelen die het milieu vernietigen, de kloof tussen arm en rijk vergroten en optimaliseren voor kortetermijnwinst.

Kortom, die samenleving ontwikkelt technologieën en markten die een ineenstorting versnellen in plaats van voorkomen.

De tweede reden voor de kwetsbaarheid van technologie is dat aanpassingsmechanismen kosten met zich meebrengen. De kosten van technologie en de markt worden berekend in grondstoffen, energie, geld, arbeid en kapitaal. Deze kosten stijgen doorgaans niet-lineair naarmate de grenzen worden bereikt. Dat feit is een andere bron van verrassend systeemgedrag.



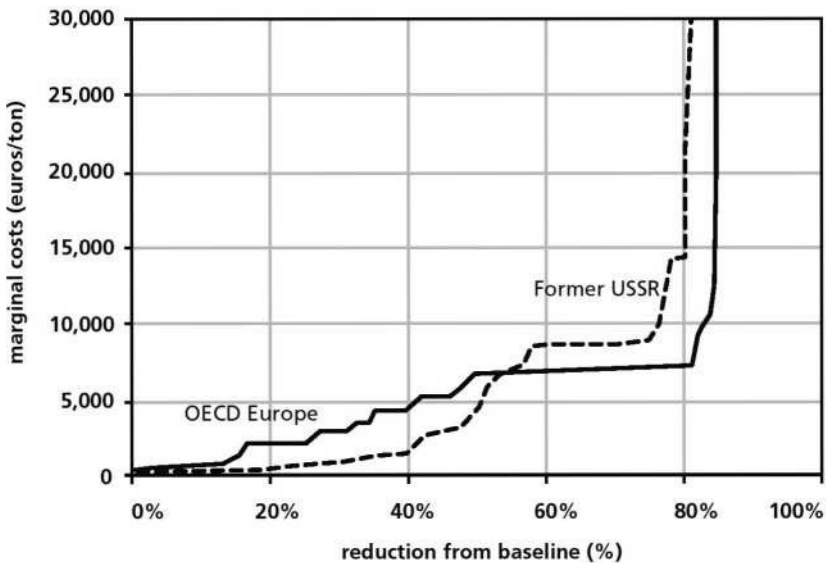
figuur 3-19 en



figuur 4-7

We hebben in figuren 3-19 en 4-7 al laten zien hoe de geproduceerde afvalstoffen en de energie die nodig is om niet-hernieuwbare hulpbronnen te winnen spectaculair stijgen naarmate de kwaliteit van de hulpbronnen afneemt. Figuur 6-5 toont een andere stijgende kostencurve: de marginale kosten per ton voor het verminderen van de uitstoot van

stikstofoxide. Het is vrij goedkoop om bijna 50 procent van de uitstoot te verwijderen. De kosten voor het verwijderen van bijna 80 procent stijgen, maar blijven betaalbaar. Maar dan is er een grens, een drempel, waarboven de kosten voor verdere verwijdering enorm stijgen.



FIGUUR 6-5 Niet-lineaire kosten van vervuilingsbeperking
De luchtverontreinigende stof NOX kan tegen lage kosten in aanzienlijke mate uit emissies worden verwijderd, maar vanaf een bepaald niveau van vereiste beperking stijgen de kosten van verdere verwijdering sterk. De marginale kostencurve voor NOX-verwijdering is berekend voor 2010 voor de OESO-landen in Europa en de voormalige Sovjet-Unie in euro's per ton. (Bron: J. R. Alcamo et al.)

Verdere technische ontwikkelingen kunnen beide curven naar rechts verschuiven, waardoor een completere sanering betaalbaar wordt. Misschien zou een andere technologie die de rook volledig elimineert, een andere emissie kunnen introduceren, die weer gekoppeld is aan een andere emissiereductiecurve. Toch zullen emissiereductiecurven altijd dezelfde basisvorm hebben. Er zijn fundamentele fysische redenen waarom de emissiereductiekosten stijgen naarmate 100 procent reductie – dat wil zeggen nul emissies – wordt geëist. Een groeiend aantal schoorstenen of uitlaten garandeert dat deze stijgende kosten zich zullen voordoen. Het is misschien betaalbaar om de vervuiling per auto te halveren, maar als het aantal auto's vervolgens verdubbelt, moet de vervuiling per auto opnieuw worden gehalveerd om dezelfde luchtkwaliteit te behouden. Twee verdubbelingen vereisen een vermindering van de vervuiling met 75 procent. Drie verdubbelingen vereisen een vermindering met 87,5 procent.

Op een gegeven moment is het dus niet langer zo dat groei een economie rijk genoeg maakt om vervuiling te kunnen bestrijden. In feite brengt groei een economie langs een niet-lineaire kostencurve tot het punt waarop verdere bestrijding onbetaalbaar wordt. Op dat moment zou een rationele samenleving de uitbreiding van haar activiteiten stopzetten, aangezien verdere groei het welzijn van haar burgers niet langer zou vergroten.

[250] De derde reden waarom technologie en de markt deze problemen niet automatisch kunnen oplossen, is dat ze werken via feedbackloops met informatievervormingen en ver-

tragingen. Vertragingen in de reacties van de markt en de technologie kunnen veel langer duren dan economische theorieën of mentale modellen verwachten. Feedbackloops tussen technologie en markt zijn zelf bronnen van overschrijding, oscillatie en instabiliteit. Een voorbeeld van die instabiliteit, die door de hele wereld werd gevoeld, was de schommeling van de olieprijsen in de decennia na 1973.

Een voorbeeld van marktimperfectie: schommelingen op de oliemarkt

Er waren veel oorzaken voor de “olieprijschok” van 1973, maar de belangrijkste was het wereldwijde tekort aan kapitaal voor de olieproductie (oliebronnen) in verhouding tot het kapitaal voor olieconsumptie (auto's, ovens en andere oliegestookte machines). In het begin van de jaren zeventig draaiden de oliebronnen wereldwijd op meer dan 90 procent van hun capaciteit. Daarom kon een politieke omwenteling in het Midden-Oosten die zelfs maar een klein deel van de wereldolieproductie stillegde, niet worden gecompenseerd door een toename van het aanbod elders. Dit gaf de OPEC de kans om de prijzen te verhogen, en dat is precies wat ze deden.

Die prijsstijging en een tweede om dezelfde reden in 1979 (zie figuur 6-6) veroorzaakten een wilde reeks economische en technische reacties. Aan de aanbodzijde werden er meer putten geboord en werd er meer pompcapaciteit geïnstalleerd buiten het OPEC-gebied. Marginale olievoorraden werden plotseling rendabel en werden in productie gebracht.

Het vinden, bouwen en openen van olieproductiefaciliteiten, van putten tot raffinaderijen en tankers, kostte tijd.

Ondertussen reageerden consumenten op de hogere prijzen door te besparen. Autofabrikanten kwamen met efficiëntere modellen. Mensen isoleerden hun huizen. Elektriciteitsbedrijven schakelden hun oliegestookte generatoren uit en investeerden in kolen- of kerncentrales. [152] Regeringen verplichtten verschillende vormen van energiebesparing en stimuleerden de ontwikkeling van alternatieve energiebronnen. Deze reacties duurden ook jaren. Uiteindelijk resulteerden ze in langdurige veranderingen in de kapitaalvoorraad van de wereld.

Voorstanders van de markt lijken te geloven dat deze altijd snel handelt. Maar op de wereldwijde oliemarkt duurde het bijna 10 jaar voordat de vele reacties eindelijk een nieuw evenwicht tussen vraag en aanbod tot stand brachten - in het lagere consumptieniveau dat overeenkomt met de hogere olieprijs. Tegen 1983 was de wereldwijde olieconsumptie met 12 procent gedaald ten opzichte van de piek in 1979. 6 Er was nog steeds te veel olieproductiekapitaal en de OPEC moest haar pompcapaciteit nog verder verlagen, tot bijna 50 procent. De wereldolieprijs kroop naar beneden, kelderde in 1985 en zette zijn neerwaartse trend (in reële dollartermen op) voort tot het einde van de jaren 1990.

Net zoals de prijs te ver omhoog was gegaan, ging hij toen ook te ver omlaag. Terwijl olieproductiefaciliteiten werden stilgelegd en olieproducerende gebieden werden getroffen door depressies, werden de inspanningen voor natuurbehoud opgegeven. Ontwerpen voor efficiëntere auto's werden op

de plank gelegd. Investerings in alternatieve energiebronnen droogden op. Uiteindelijk, toen deze aanpassingsmechanismen aan kracht wonnen, creëerden ze de voorwaarden voor de volgende onbalans en de volgende olieprijsstijging, wat we misschien wel zien in de relatief hoge olieprijsen in de eerste jaren na de millenniumwisseling.

Deze over- en onderschrijdingen waren het gevolg van onvermijdelijke reactievertragingen op de oliemarkt. Ze veroorzaakten enorme internationale verschuivingen van rijkdom, enorme schulden en overschotten, hausses en baisses en bankfaillissementen, allemaal het gevolg van pogingen om de relatieve omvang van het productiekapitaal en het consumptiekapitaal voor olie aan te passen. Geen van deze prijsstijgingen en -dalingen hield verband met de werkelijke ondergrondse hoeveelheid olie (die gestaag afnam) of met de milieueffecten van het boren naar, transporteren, raffineren en verbranden van olie. Het prijssignaal van de markt gaf vooral informatie over de relatieve schaarste of het overschot aan beschikbare olie.

Om vele redenen hebben de signalen van de oliemarkt de wereld nog geen bruikbare informatie gegeven over naderende fysieke grenzen. De regeringen van producerende landen grijpen in om de olieprijs te verhogen; ze hebben redenen om te liegen over hun reserves en deze te hoog in te schatten om in aanmerking te komen voor een hogere productie quota. Regeringen in de consumerende landen doen hun best om de prijzen laag te houden. Ze kunnen liegen over de reserves en ze overschatten om de politieke macht van individuele producenten te verminderen. Speculanten

kunnen prijschommelingen versterken. En de bovengrondse hoeveelheden olie die klaar zijn voor gebruik hebben veel meer invloed op de prijs dan de hoeveelheden die onder de grond liggen als toekomstige voorraden. De markt is blind voor de lange termijn en besteedt geen aandacht aan de uiteindelijke bronnen en putten, totdat ze bijna uitgeput zijn en het te laat is voor aantrekkelijke oplossingen.

Economische signalen en technologische reacties kunnen krachtige reacties oproepen, zoals het voorbeeld van de olieprijs illustreert, maar ze zijn gewoon niet op de juiste plaatsen verbonden met het systeem aarde om de maatschappij bruikbare informatie te geven over fysieke grenzen.

Tot slot willen we terugkomen op de doelen die aan technologie en markten worden gesteld. Het zijn gewoon hulpmiddelen. Ze hebben niet meer inherente wijsheid of vooruitziendheid of gematigdheid of mededogen dan de menselijke bureaucratieën die ze creëren. De resultaten die ze in de wereld produceren hangen af van wie ze gebruikt en voor welke doeleinden. Als ze gebruikt worden voor trivialiteit, onrechtvaardigheid of geweld, dan is dat wat ze zullen voortbrengen. Als ze gevraagd worden om onmogelijke doelen te dienen, zoals constante fysieke expansie op een eindige planeet, dan zullen ze uiteindelijk falen. Als ze worden opgeroepen om haalbare en duurzame doelen te dienen, kunnen ze helpen een duurzame samenleving tot stand te brengen. In het volgende hoofdstuk laten we zien hoe dat zou kunnen gebeuren.

Technologie en markten, gereguleerd en gebruikt voor het algemeen welzijn op lange termijn, zullen een enorme hulp

zijn. Toen de wereld besloot om zonder CFK's verder te gaan, maakte technologie die verandering mogelijk over meerdere decennia. Wij geloven niet dat het mogelijk is om een voldoende, rechtvaardige, duurzame wereld tot stand te brengen zonder technische creativiteit en ondernemerschap en een relatief vrije markt. We geloven ook niet dat dit voldoende is. Er zijn andere menselijke vaardigheden nodig om de menselijke wereld duurzaam te maken. Zonder deze vaardigheden kunnen technologische vooruitgang en markten samenwerken om duurzaamheid tegen te werken en de ineenstorting van belangrijke hulpbronnen te versnellen. Dat is precies wat er met de oceaanvisserij is gebeurd.

Technologie, markten en de vernietiging van de visserij

Ik herinner me dat ik 5.000 pond vis ving in acht netten. Tegenwoordig zijn daar misschien wel 80 netten voor nodig. Toen was de gemiddelde kabeljauw in het voorjaar waarschijnlijk 25 tot 40 pond. Nu is dat 5 tot 8 pond.

-Een visser op de Georges Bank, 1988

Als je iets wilt weten over kabeljauw, dan zal ik het je vertellen. Er is niet meer.

-Canadese visser Dave Molloy, 1997

[254] De recente geschiedenis van de wereldvisserij illustreert hoe inadequaat de technologie en de markten kunnen reageren op naderende limieten. In het geval van de mondia-

le visserij kwam de “normale” combinatie van ontkenning van limieten, verhoogde inspanning om traditionele vangst-volumes te handhaven, uitzetting van buitenlandse vissers, subsidies voor lokale vissers en uiteindelijk aarzelende maatschappelijke regulering van de toegang om de hoek kijken. In sommige gevallen - zoals bij de kabeljauwvisserij aan de oostkust van Canada waarnaar in de citaten hierboven wordt verwezen - kwam de maatschappelijke interventie te laat om de hulpbronnen te redden.

De overstap naar regulering heeft zich geleidelijk uitgebreid naar de meeste grote visserijen. Het tijdperk van de “open zeeën” loopt zeker ten einde. Grenzen zijn eindelijk duidelijk en vormen nu een dominant aspect van de wereldvisserij. Als gevolg van de schaarste van hulpbronnen en regulering is de wereldwijde vangst van wilde vis gestopt met groeien. In de jaren negentig schommelde de totale mondiale commerciële zeevisvangst onder de 80 miljoen ton per jaar⁷ (**figuur 6-7**). We kunnen pas na vele jaren weten of dit plateau duurzaam is of het begin van een ineenstorting. Rond 1990 geloofde de Voedsel- en Landbouworganisatie van de VN dat de wereldzeeën een commerciële vangst van meer dan 100 miljoen ton per jaar uit conventionele bronnen niet aankonden - wat net boven het niveau ligt dat we in de jaren 1990 zagen.

Het is dan ook geen verrassing dat de visteelt in dezelfde periode snel is gegroeid en nu bijna 40 miljoen ton per jaar produceert, tegenover 13 miljoen ton in 1990. Een derde van de vis die wereldwijd wordt geconsumeerd, wordt nu gekweekt. Zouden we niet blij moeten zijn met deze reactie

van de markt en de technologie? [255] Illustreert de groei van de visteelt niet gewoon het vermogen van technologie en markten om het probleem op te lossen? Niet echt, en wel om drie redenen. Visproductie was vroeger een voedselbron; het is een voedselput aan het worden. Vissen en andere aquatische soorten voedden vroeger de armen; ze gaan nu steeds meer naar de rijken. Visscholen zijn een neutraal onderdeel van het milieu; viskwekerijen zijn verwoestend voor het milieu.

Ten eerste is de oceaanvisserij een echte voedselbron voor de mensheid. Ze converteren eenvoudige planten in heerlijk vlees. Visteelt is geen netto voedselbron; het zet slechts de ene vorm van voedsel om in een andere, met onvermijdelijke verliezen in elke fase. Gewoonlijk worden gekweekte vissen gevoed met graan of vismeel. Ten tweede was vis vroeger een belangrijke voedingsbron voor de armen, lokaal beschikbaar en met weinig of geen financiële kosten. Gemeenschappen die parttime samenwerkten, konden met eenvoudig gereedschap het voedsel oogsten dat ze nodig hadden voor eigen gebruik. Visteelt daarentegen wordt bedreven om de markten te bedienen waar de winsten het hoogst zijn. Gekweekte zalm en garnalen gaan naar de tafels van de rijken, niet om de armen te voeden. En het probleem wordt nog verergerd door de vernietiging van de kustvisserij. [256] Veel lokale visbestanden zijn vernietigd en de prijzen van de rest worden opgedreven door consumenten op verre markten. Als gevolg hiervan is vis steeds minder beschikbaar voor de armen. Ten derde veroorzaakt het kweken van vis, garnalen en andere aquatische soorten grote schade aan het

milieu. Het ontsnappen van gekweekte soorten in het wild, de verspreiding van voedselafval en antibiotica in zeewater, de verspreiding van virussen en de vernietiging van kust-wetlands zijn allemaal gevolgen van deze nieuwe technologie. Deze schadelijke effecten zijn geen toeval. Ze zijn het gevolg van de werking van de markt omdat het “externaliteiten” zijn die eenvoudigweg geen invloed hebben op de prijzen of winsten in een belangrijke markt voor vis.



FIGUUR 6-7 Wereldvangst van wilde vis

De totale wereldvangst van wilde vis is tussen 1960 en 1990 dramatisch toegenomen. Maar in het laatste decennium van de twintigste eeuw stopte de totale vangst met groeien. (Bron: FAO.)

In 2002 schatte de FAO dat ongeveer 75% van 's werelds oceaانvisserij op of boven de capaciteit werd bevestigd.^{Q8} In 9 van de 19 visserijzones wereldwijd lagen de visvangsten boven de ondergrens van de geschatte duurzame opbrengst.

Verschillende in het oog springende gebeurtenissen illustreren de enorme druk op de wereldvisserij.

Zoals hierboven vermeld, sloot de Canadese regering in 1992 alle visgronden aan de oostkust, inclusief de kabeljauwvisserij. In 2003 bleven ze gesloten omdat het bestand zich onvoldoende herstelde. In 1994 werd de zalmvisserij voor de Amerikaanse westkust sterk ingekrompen.^{Q9} In 2002 bereikten vier landen rond de Kaspische Zee eindelijk overeenstemming over een regeling om de steur, de bron van de beroemde kaviaar, te gaan beschermen, nadat de jaarlijkse vangst was gedaald van 22.000 ton per jaar in de jaren zeventig tot 1000 ton per jaar aan het eind van de jaren negentig. 10 De blauwvintonijnpopulaties, die normaal gesproken 30 jaar oud worden en 700 kilo wegen, daalden met 94 procent in de 20 jaar tussen 1970 en 1990. De totale vangst in de Noorse wateren wordt alleen in stand gehouden door minder gewilde commerciële vis te vervangen terwijl de meer gewilde vis wordt geëlimineerd.

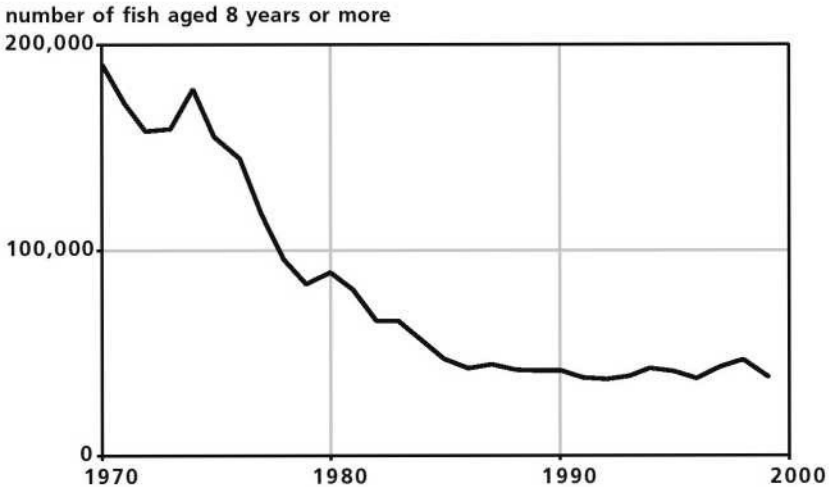
Aan de andere kant heeft een tien jaar durend moratorium op de visserij de haring- en kabeljauwbestanden in de Noorse wateren hersteld, wat bewijst dat het mogelijk is om negatieve trends om te buigen door middel van overheidsingrijpen. Dit blijkt moeilijker voor de Europese Unie, die de capaciteit van haar vissersvloot probeert te verminderen. De EU-vloot heeft zich steeds meer verplaatst van de Europese wateren naar die van relatief arme ontwikkelingslanden, waardoor de lokale bevolking waardevolle banen en eiwitten kwijtraakt. Kortom, er bestaat weinig twijfel over het feit dat de mondiale visserij de mondiale beperkingen zwaar

onder druk zet.

Terwijl de visserij-industrie over de hele wereld tot 1990 redelijk vrije en krachtige markten kende, maakte de industrie een buitengewone technologische ontwikkeling door. [257] Gekoelde verwerkingsboten stellen vloten in staat om op afgelegen visgronden te blijven in plaats van onmiddellijk naar huis terug te keren met de vangst van een dag. Radar, sonar en satellietspotting brengen boten steeds efficiënter naar de vis. Drijfnetten van 30 mijl lang maken economisch vissen op grote schaal mogelijk, zelfs op volle zee. Het resultaat is dat de vangsten in steeds meer visserijen de duurzame grenzen overschrijden. In plaats van de vis te beschermen of de visbestanden te verbeteren, probeert het soort technologie dat wordt gebruikt elke laatste vis te vangen (**figuur 6-8**).

Hoewel de meeste mensen intuïtief begrijpen dat dit leidt tot overexploitatie van de visbestanden, geeft de markt geen corrigerende feedback om concurrenten ervan te weerhouden een gemeenschappelijke hulpbron zoals zeevis te overexploiteren. Integendeel, de markt beloont actief diegenen die er het eerst zijn en het meest nemen.^{Q11} Als de markt schaarse signaleert door de prijs van vis te verhogen, zullen de rijkste mensen bereid zijn die prijs te betalen. Begin jaren negentig was blauwvintonijn op de sushimarkt in Tokio wel 100 dollar per pond waard.^{Q12} En in Stockholm bereikte de prijs van kabeljauw, ooit het meest gewone levensmiddel voor de armen, in 2002 de ongelofelijke prijs van 80 dollar per pond.^{Q13} [233] Omgekeerd moedigen deze hoge prijzen producenten aan om veel meer te vissen, terwijl de vispopu-

latie verder uitgeput raakt. Maar de hoge prijs remt de groei van de vraag af en wijst de vis toe aan degenen die het kunnen betalen - helaas niet degenen die de vis het hardst nodig hebben als voedsel.



FIGUUR 6-8 Afname van de blauwvintonijnpopulatie

De westelijke Atlantische paai populatie van blauwvintonijn (ouder dan 8 jaar) is de afgelopen 30 jaar met 80 procent afgenomen.

Vanwege de hoge waarde van deze vis wordt er nog steeds op ge-vist. (Bron: ICCAT.)

De markspelers die druk bezig zijn met het uitroeien van hulpbronnen zijn volkomen rationeel. Wat ze doen is volkomen logisch, gezien de beloningen en beperkingen die ze zien van de plaats die ze innemen in het systeem. De fout ligt niet bij de mensen, maar bij het systeem. Een ongeregu-leerd marktsysteem dat een gemeenschappelijke bron met

een trage regeneratiesnelheid bestuurt, leidt onvermijdelijk tot overschrijding en de vernietiging van de gemeenschappelijke bron.

U denkt aan de walvisindustrie als een organisatie die geïnteresseerd is in het behoud van walvissen; eigenlijk kan het beter gezien worden als een enorme hoeveelheid [geld]kapitaal dat probeert een zo hoog mogelijk rendement te behalen. Als de industrie in tien jaar walvissen kan uitroeien en 15 procent winst kan maken, maar slechts 10 procent met een duurzame oogst, dan zal ze de walvissen in tien jaar uitroeien. Daarna, wordt het geld verplaatst naar het uitroeien van een andere bron.^{Q14}

Alleen politieke beperkingen van welke aard dan ook kunnen de hulpbron beschermen, en die politieke beperkingen zijn niet gemakkelijk te bereiken. Regulering werkt ook niet altijd goed. Recent onderzoek geeft aan dat overexploitatie ook de neiging heeft om op te treden wanneer de hernieuwbare hulpbron volledig in privébezit is, en er dus geen kans is op een “tragedy of the commons”-syndroom.^{Q15} Overexploitatie treedt eenvoudigweg op omdat de informatie over de hulpbronbasis - zoals schattingen van de bestanden, vangstvolumes en groeipercentages - onzeker en ruisachtig is en niet geschikt is voor traditionele beheerbeslissingsregels. Het typische resultaat is overinvestering in oogstkapitaal en overbevising van de hulpbron.

Traditionele markten en technologie hebben de wereldwijde zeevisserij aan de rand van de afgrond gebracht. Meer van hetzelfde zal ze niet meer gezond maken. Markten en tech-

nologieën die zonder besef van grenzen worden gebruikt, zijn instrumenten van overschrijding. Als ze echter binnen grenzen worden gebruikt en worden geleid door regulerende instellingen, kunnen de krachten van de markt en technologische ontwikkeling helpen om de visserijsector wereldwijd van rijke oogsten te voorzien die generaties lang in stand kunnen worden gehouden.

Samenvatting

[259] Exponentiële groei van bevolking, kapitaal, gebruik van hulpbronnen en vervuiling gaat door op de planeet. Het wordt aangedreven door pogingen om scherp gevoelde menselijke problemen op te lossen, van werkloosheid en armoede tot de behoefte aan status, macht en zelfacceptatie.

Exponentiële groei kan snel elke vaste grens overschrijden. Als de ene limiet wordt teruggedrongen, zal de exponentiële groei al snel tegen een andere aanlopen.

Door vertragingen in de terugkoppeling van limieten zal het mondiale economische systeem waarschijnlijk zijn duurzame niveaus overschrijden. Sterker nog, voor veel bronnen en putten die belangrijk zijn voor de wereldeconomie heeft overschrijding al plaatsgevonden.

Technologie en markten werken alleen op basis van imperfecte informatie en met vertraging. Daarom kunnen ze de neiging van de economie om door te schieten versterken.

Technologie en markten dienen meestal de machtigste segmenten van de samenleving. Als het primaire doel groei is, produceren ze groei zo lang als ze kunnen. Als het primaire doel gelijkheid en duurzaamheid zou zijn, dan zouden ze ook

die doelen kunnen dienen.

Als de bevolking en de economie eenmaal de fysieke grenzen van de aarde hebben overschreden, zijn er maar twee manieren om terug te keren: onvrijwillige ineenstorting door escalerende tekorten en crises, of gecontroleerde verkleining van de ecologische voetafdruk door bewuste sociale keuzes.

In het volgende hoofdstuk zullen we zien wat er gebeurt als technologische verbeteringen worden gecombineerd met bewuste sociale keuzes om de groei te beperken.

HOOFDSTUK – 7

OVERGANG NAAR EEN DUURZAAM SYSTEEM

De stationaire toestand zou minder eisen stellen aan onze natuurlijke hulpbronnen, maar veel meer aan onze morele hulpbronnen.

-HERMAN DALY, 1971

De menselijke wereld kan op drie manieren reageren op signalen dat het gebruik van hulpbronnen en de uitstoot van vervuilende stoffen hun duurzame grenzen hebben overschreden. Een manier is om de signalen te ontkennen, te verhullen of te verwarren. Deze benadering kent vele vormen. Sommigen beweren dat er geen reden tot zorg is over grenzen; de markt en de technologie zullen alle problemen vanzelf oplossen. Anderen beweren dat er geen pogingen moeten worden ondernomen om de overschrijding te verminderen totdat er veel meer onderzoek is gedaan. Weer anderen proberen de kosten van hun overschrijding af te wentelen op mensen die ver weg wonen of in een andere tijd leven. Het is bijvoorbeeld mogelijk om:

- Hogere schoorstenen te bouwen, zodat de luchtvervuiling verder weg waait, waar iemand anders het moet inademen.

- Giftige chemicaliën of nucleair afval verscheppen voor verwijdering in een verafgelegen regio.
- Visserij- en bosbestanden overbevissen of -kappen, met het argument dat dit nodig is om banen te behouden of schulden af te lossen, terwijl daarmee de natuurlijke voorraden worden uitgeput waarvan banen en schuldaflissingen uiteindelijk afhankelijk zijn.
- Subsidies verstrekken aan winningsindustrieën die failliet gaan door schaarste.
- Op zoek gaan naar meer hulpbronnen terwijl de reeds ontdekte hulpbronnen inefficiënt worden gebruikt.
- De afnemende vruchtbaarheid van de bodem compenseren door steeds meer kunstmest te gebruiken.
- Prijzen kunstmatig laag houden door middel van subsidies, zodat ze niet kunnen stijgen als reactie op schaarste.
- Militair geweld of de dreiging daarvan gebruiken om het gebruik van hulpbronnen veilig te stellen die te duur zijn om aan te schaffen.

[261] Deze maatregelen lossen de problemen die voortvloeien uit een buitensporige ecologische voetafdruk niet op, maar zorgen er alleen maar voor dat ze erger worden.

Een tweede manier om te reageren is de druk van de beperkingen te verlichten door technische of economische oplossingen. Het is bijvoorbeeld mogelijk om:

- De hoeveelheid vervuiling per mijl gereden of per kilowatt opgewekte elektriciteit te verminderen.

- Grondstoffen efficiënter te gebruiken, te recyclen of niet-hernieuwbare grondstoffen te vervangen door hernieuwbare.
- Functies die vroeger door de natuur werden vervuld, zoals rioolwaterzuivering, overstromingsbeheersing of bodembevruchting, vervangen door energie, menselijk kapitaal en arbeid.

Deze maatregelen zijn dringend nodig. Veel ervan zorgen voor een grotere eco-efficiëntie en zullen de druk tijdelijk verlichten, waardoor essentiële tijd kan worden gewonnen. Maar ze zullen de oorzaken van die druk niet wegnemen. Als er minder vervuiling is per mijl gereden, maar er meer wordt gereden, of als er meer rioolwaterzuiveringscapaciteit is, maar er meer rioolwater wordt geproduceerd, zijn de problemen alleen maar uitgesteld, niet opgelost.

De derde manier om te reageren is door de onderliggende oorzaken aan te pakken, een stap terug te doen en te erkennen dat het huidige sociaaleconomische systeem onbeheersbaar is, zijn grenzen heeft overschreden en op instorten staat, en daarom te streven naar verandering van de structuur van het systeem.

De uitdrukking ‘structuur veranderen’ heeft vaak een onheilspellende bijklank. Revolutionairen gebruiken deze uitdrukking om aan te geven dat ze mensen uit de macht willen zetten, soms met behulp van bommen. Mensen denken misschien dat structuur veranderen betekent dat fysieke structuren worden veranderd, dat oude gebouwen worden afgebro-

ken en nieuwe worden gebouwd. Of het kan worden geïnterpreteerd als een verandering van de machtsstructuur, de hiërarchie, de commandostructuur. Gezien deze interpretaties lijkt structuurverandering moeilijk, gevaarlijk en bedreigend voor mensen met economische of politieke macht.

[262] In systeemtaal heeft het veranderen van structuren echter weinig te maken met het wegsturen van mensen, het afbreken van dingen of het slopen van bureaucratieën. Als je dat doet zonder echte veranderingen in de structuur, zal dat er alleen maar toe leiden dat andere mensen evenveel of meer tijd en geld besteden aan het nastreven van dezelfde doelen in nieuwe gebouwen of organisaties, met dezelfde oude resultaten.

In systeemtermen betekent het veranderen van structuur het veranderen van *de feedbackstructuur, de informatieverbindingen in een systeem*: de inhoud en actualiteit van de gegevens waarmee de actoren in het systeem moeten werken, en de ideeën, doelstellingen, prikkels, kosten en feedback die gedrag motiveren of beperken. Dezelfde combinatie van mensen, organisaties en fysieke structuren kan zich totaal anders gedragen als de actoren in het systeem daar een goede reden voor zien en als ze de vrijheid, of misschien zelfs de prikkel, hebben om te veranderen. Na verloop van tijd zal een systeem met een nieuwe informatiestructuur waarschijnlijk ook zijn sociale en fysieke structuren veranderen. Er kunnen nieuwe wetten, nieuwe organisaties, nieuwe technologieën, mensen met nieuwe vaardigheden, nieuwe soorten machines of gebouwen ontstaan. Een dergelijke transformatie hoeft niet centraal te worden aangestuurd; ze kan onge-

pland, natuurlijk, evolutionair, spannend en vreugdevol zijn. Alomtegenwoordige veranderingen ontvouwen zich spontaan vanuit nieuwe systeemstructuren. Niemand hoeft offers te brengen of dwang uit te oefenen, behalve misschien om te voorkomen dat mensen met gevestigde belangen relevante informatie negeren, verdraaien of beperken. De menselijke geschiedenis is getuige geweest van verschillende structurele transformaties. De agrarische en industriële revoluties waren de meest ingrijpende voorbeelden. Beide begonnen met nieuwe ideeën over het verbouwen van voedsel, het benutten van energie en het organiseren van werk. Zoals we in het volgende hoofdstuk zullen zien, is het juist het succes van die eerdere transformaties dat de wereld heeft gebracht tot de noodzaak van de volgende, die we de duurzaamheidsrevolutie zullen noemen.

World3 kan onmogelijk de evolutionaire dynamiek weergeven van een systeem dat zichzelf op nieuwe manieren herstructureert. Maar het kan wel worden gebruikt om enkele van de eenvoudigste veranderingen te testen die zouden kunnen voortvloeien uit een samenleving die besluit af te zien van overschrijding en te streven naar doelen die bevredigender en duurzamer zijn dan voortdurende materiële groei.

In het vorige hoofdstuk hebben we het World3-model gebruikt om te zien wat er gebeurt als de wereld numerieke, en geen structurele, veranderingen doorvoert. We hebben in het model hogere limieten, kortere vertragingen, snellere en krachtigere technische reacties en zwakkere erosielussen ingebouwd. [263] Als we in plaats daarvan alle structurele

kenmerken volledig hadden weggelaten – geen limieten, geen vertragingen, geen erosielussen – zouden we de overschrijding en de ineenstorting volledig hebben geëlimineerd (zoals we hebben gedaan in scenario 0, de “*Infinity In, Infinity Out*”-run). Maar limieten, vertragingen en erosie zijn fysieke eigenschappen van de planeet. Mensen kunnen ze verzachten of versterken, ze manipuleren met technologieën en zich eraan aanpassen door hun levensstijl te veranderen, maar ze kunnen ze niet volledig wegwerken.

De structurele oorzaken van overschrijding waarover mensen de meeste macht hebben, zijn die welke we in hoofdstuk 6 niet hebben gewijzigd, namelijk die welke de positieve feedbackloops aansturen die een exponentiële groei van de menselijke bevolking en het fysieke kapitaal veroorzaken. Het zijn de normen, doelen, verwachtingen, druk, prikkels en kosten die ervoor zorgen dat mensen meer kinderen krijgen dan nodig is om de bevolking op peil te houden. Het zijn de diepgewortelde overtuigingen en praktijken die ervoor zorgen dat natuurlijke hulpbronnen verspillender worden gebruikt dan geld, dat inkomen en rijkdom ongelijk worden verdeeld, dat mensen zichzelf in de eerste plaats zien als consumenten en producenten, dat sociale status wordt geassocieerd met materiële of financiële accumulatie, en dat doelen worden gedefinieerd in termen van meer krijgen in plaats van meer geven of genoeg hebben.

In dit hoofdstuk zullen we de positieve lussen veranderen die exponentiële groei in het wereldsysteem veroorzaken. We zullen onderzoeken hoe we uit de toestand van overschrijding kunnen komen. Om dat te doen, zullen we een

nieuw perspectief aannemen, dat niet gericht is op technologieën om grenzen te veranderen, maar op de doelen en aspiraties die groei aansturen. We zullen alleen beginnen met deze positieve feedbackveranderingen, zonder de technische veranderingen die we in het vorige hoofdstuk hebben getest, en vervolgens zullen we beide soorten veranderingen samenvoegen.

Bewuste beperkingen van de groei

Stel dat vanaf 2002 alle stellen in de wereld begrijpen wat verdere bevolkingsgroei betekent voor het welzijn van hun eigen kinderen en andere kinderen. Stel dat alle mensen door hun samenleving verzekerd zijn van acceptatie, respect, materiële zekerheid en zorg op oudere leeftijd, ongeacht het aantal kinderen dat ze hebben. [264] Stel verder dat het een gemeenschappelijk maatschappelijk doel werd om elk kind op te voeden met voldoende voeding, onderdak, gezondheidszorg en onderwijs. Stel dat alle stellen als gevolg daarvan besloten om hun gezinsgrootte te beperken tot gemiddeld twee kinderen en dat ze gemakkelijk toegang hadden tot technologieën voor geboortebeperving om dat doel te bereiken.

De verandering zou leiden tot een verschuiving in de waargenomen kosten en baten van kinderen, een langere tijdshorizon en enige bezorgdheid over het welzijn van anderen. Het zou nieuwe bevoegdheden, keuzes en verantwoordelijkheden met zich meebrengen. Het zou een herstructurering van het systeem betekenen die vergelijkbaar is met, maar

niet hetzelfde als, de herstructurering die in de rijke delen van de wereld het geboortecijfer tot onder het vervangingsniveau heeft gebracht. Het is geenszins een ondenkbare verandering; het veronderstelt dat alle mensen de reproductieve keuzes overnemen die lang geleden door ongeveer een miljard mensen in de meest geïndustrialiseerde samenlevingen zijn gemaakt.

Als alleen die verandering in Wereld 3 wordt doorgevoerd en geen andere, zijn de resultaten weergegeven in **Scenario 7, figuur 7-1**.

Om dit scenario te genereren, hebben we de gemiddelde gewenste gezinsgrootte van de modelbevolking vastgesteld op twee kinderen en de effectiviteit van geboortebeperking op 100 procent na het gesimuleerde jaar 2002. Als gevolg daarvan vertraagt de bevolkingsgroei in de modelwereld, maar door de momentum van de leeftijdsopbouw bereikt de bevolking in 2040 een piek van 7,5 miljard. De piekbevolking is een half miljard lager dan het maximum in scenario 2. Een wereldwijd effectief tweekindbeleid dat in 2002 wordt ingevoerd, vermindert de piekbevolking dus met minder dan 10 procent. De verklaring hiervoor is dat zelfs zonder dit beleid de modelbevolking net na de eeuwwisseling snel een levensstandaard nadert waarin kleine gezinnen sowieso gewenst zijn en de efficiëntie van geboortebeperking bijna 100 procent bedraagt.

Toch heeft de vermindering van de piekbevolking positieve effecten. Door de tragere bevolkingsgroei zijn de consumptiegoederen per hoofd van de bevolking, de voedselvoorziening per hoofd van de bevolking en de levensverwachting

allemaal hoger dan in scenario 2. Bij de bevolkingspiek in 2040 is de productie van consumptiegoederen per hoofd van de bevolking 10 procent hoger, is de beschikbaarheid van voedsel per hoofd van de bevolking 20 procent hoger en is de levensverwachting bijna 10 procent hoger dan in scenario 2. Dit komt doordat er minder investeringen nodig zijn om te voorzien in de consumptie- en dienstbehoeften van een kleinere bevolking, waardoor er meer investeringen beschikbaar zijn om de groei van het industrieel kapitaal te stimuleren. [265] Als gevolg daarvan groeit de industriële productie sneller en sterker dan in scenario 2. In 2040 is de industriële productie per hoofd van de bevolking verdubbeld ten opzichte van 2000. De modelbevolking is aanzienlijk rijker dan aan het begin van de eeuw en de periode 2010-2030 kan worden omschreven als een “gouden eeuw”, met een relatief hoog welzijn voor een grote bevolking.

Maar de industriële productie bereikt in 2040 een piek en daalt vervolgens in ongeveer hetzelfde tempo als in scenario 2, en om precies dezelfde redenen. De grotere kapitaalinstallaties stoten meer vervuiling uit, wat negatieve gevolgen heeft voor de landbouwproductie. Kapitaal moet worden omgeleid naar de landbouwsector om de voedselproductie op peil te houden. En later, na 2050, is de vervuiling zo groot dat deze een negatieve invloed heeft op de levensverwachting van de bevolking. Samenvattend beleeft de modelwereld een “vervuilingscrisis” waarin hoge vervuilingsniveaus het land vergiftigen en leiden tot voedseltekorten voor de bevolking.

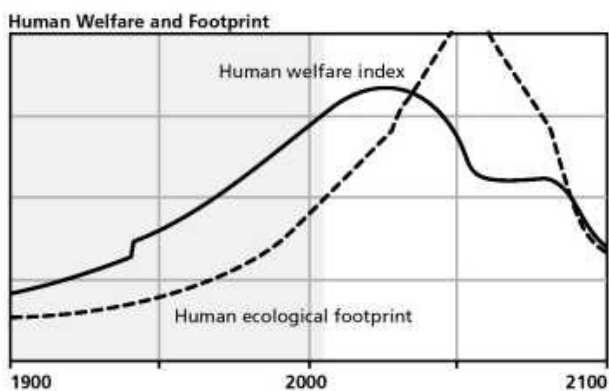
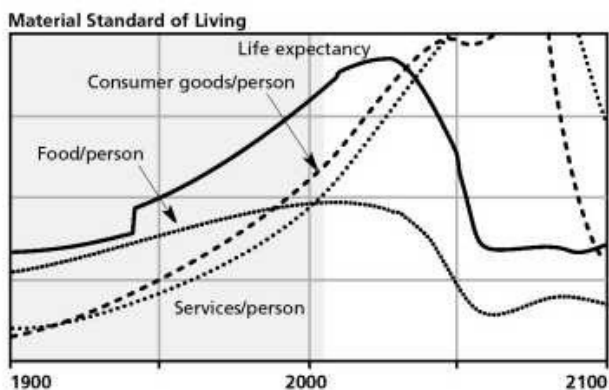
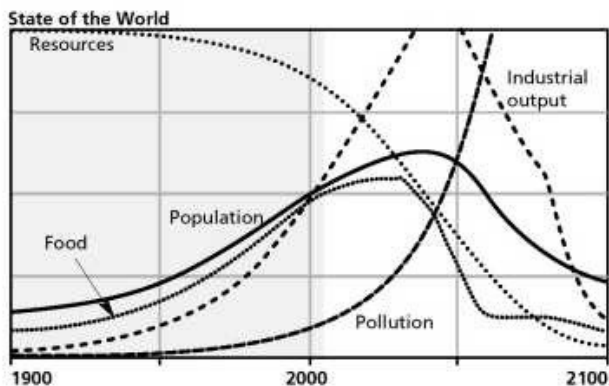
Gezien de beperkingen en technologieën die in de gesimu-

leerde wereld van scenario 7 worden verondersteld, en gezien het feit dat er geen beperkingen zijn op materiële aspiraties, kan die wereld dus zelfs geen 7,5 miljard mensen onderhouden. We kunnen een ineenstorting niet voorkomen als we alleen de wereldbevolking stabiliseren. Voortdurende kapitaalgroei is even onhoudbaar als bevolkingsgroei. Als geen van beide wordt beteugeld, kan dit een ecologische voetafdruk opleveren die de draagkracht van de aarde te boven gaat.

Maar wat als de wereldbevolking besluit om niet alleen hun kinderwens te matigen, maar ook hun materiële levensstijl? Wat als ze zichzelf een adequate maar niet buitensporige levensstandaard als doel stellen? Deze hypothetische structurele verandering is in onze huidige wereld minder zichtbaar dan de wens om minder kinderen te krijgen, maar ze is zeker niet ondenkbaar. Het is een verandering die in bijna alle religieuze teksten wordt bepleit, een verandering niet in de fysieke of politieke wereld, maar in de hoofden en harten van mensen – in hun doelen, in hun begrip van hun doel in het leven.

Figuur 7-1 Scenario 7: De wereld streeft naar een stabiele bevolking vanaf 2002

Dit scenario gaat ervan uit dat alle paren na 2002 besluiten hun gezinsgrootte te beperken tot twee kinderen en dat zij toegang hebben tot effectieve anticonceptiemiddelen. Door de leeftijdsopbouw blijft de bevolking nog een generatie lang groeien. Maar door de tragere bevolkingsgroei kan de industriële productie sneller stijgen, totdat deze wordt afgeremd door de kosten van de toenemende vervuiling, zoals in scenario 2.



Scenario 7

Om deze verandering te bereiken, zouden de mensen op aarde hun status moeten vaststellen, voldoening moeten putten uit andere dingen dan steeds meer produceren en steeds meer materiële rijkdom vergaren, en zichzelf moeten uitdagen met andere doelen.

[267] **Scenario 8, figuur 7-2**, toont opnieuw een gesimuleerde wereld met een gewenste gezinsgrootte van twee kinderen en perfecte anticonceptie, maar nu ook met een definitie van ‘genoeg’. Deze wereld heeft besloten te streven naar een industriële productie per hoofd van de bevolking die ongeveer 10 procent hoger ligt dan het wereldgemiddelde in het jaar 2000. In de praktijk betekent dit een enorme stap voorwaarts voor de armen in de wereld en een aanzienlijke verschuiving in het consumptiepatroon van de rijken in de wereld. Verder wordt in het model aangenomen dat deze productie wordt bereikt met minder investeringen, omdat ervoor wordt gekozen kapitaalgoederen te ontwerpen die 25 procent langer meegaan. De gemiddelde levensduur van industrieel kapitaal wordt verondersteld te stijgen van 14 naar 18 jaar, die van dienstverlenend kapitaal van 20 naar 25 jaar en die van landbouwinputs van 2 naar 2,5 jaar.

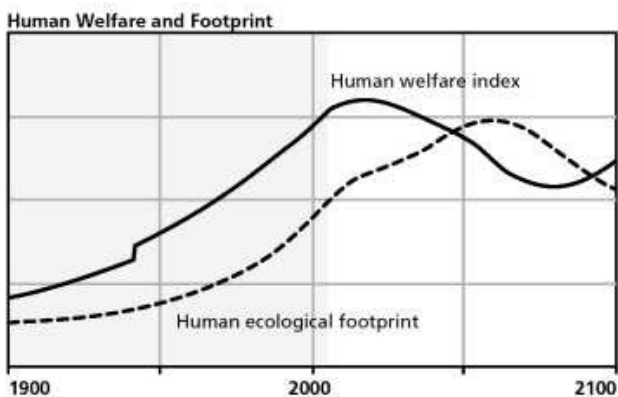
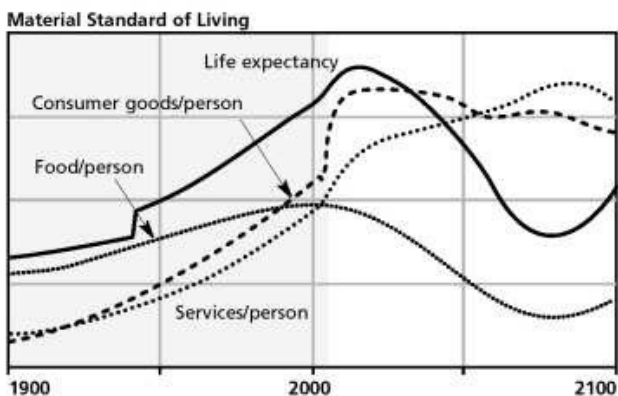
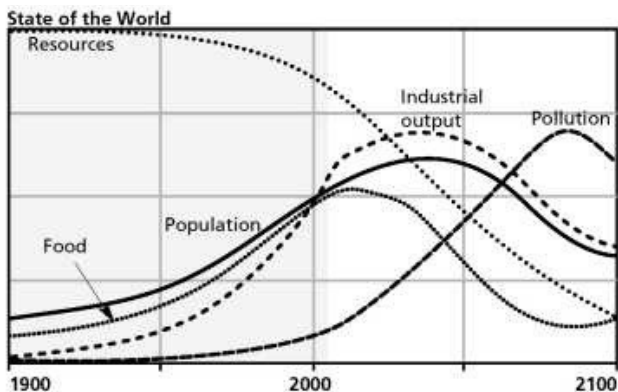
Zoals u kunt zien aan de hand van de computeruitvoer, leiden deze veranderingen tot een aanzienlijke stijging van de consumptiegoederen en -diensten per hoofd van de bevolking in het eerste decennium na 2002. Ze stijgen zelfs hoger en sneller dan in de vorige run, waarin de industriële groei niet werd afgeremd. Dat komt doordat er minder industriële output hoeft te worden geïnvesteerd in kapitaalgroei en in

vervanging van afgeschreven activa, gezien de langere levensduur van kapitaal. Er is dus onmiddellijk meer output beschikbaar voor consumptie. Als gevolg daarvan biedt deze hypothetische samenleving in de decennia van 2010 tot 2040 een volkomen toereikend, zij het niet luxueus, niveau van materieel comfort voor iedereen.

Maar deze economie is niet helemaal gestabiliseerd. De ecologische voetafdruk ligt boven het duurzame niveau en na 2040 komt de economie in een langdurige neergang terecht. In scenario 8 slaagt de wereld erin om bijna 30 jaar lang, van 2010 tot 2040, meer dan zeven miljard mensen een adequate levensstandaard te bieden. De consumptiegoederen en -diensten per hoofd van de bevolking stijgen met ongeveer 50 procent ten opzichte van 2000. De totale voedselproductie bereikt echter al in 2010 een piek en daalt daarna gestaag als gevolg van de druk van de vervuiling, die gedurende de decennia blijft toenemen. Er wordt steeds meer geïnvesteerd in de landbouw om de daling van de voedselproductie te vertragen.

FIGUUR 7-2 Scenario 8: De wereld streeft naar een stabiele bevolking en een stabiele industriële productie per persoon vanaf 2002

Als de modelmaatschappij zowel een gewenste gezinsgrootte van twee kinderen hanteert als een vaste doelstelling voor de industriële productie per hoofd van de bevolking, kan zij de “gouden periode” van vrij hoog menselijk welzijn tussen 2020 en 2040 in scenario 7 enigszins verlengen. Maar de vervuiling zet de landbouwgrond steeds meer onder druk. De voedselproductie per hoofd van de bevolking daalt, waardoor uiteindelijk de levensverwachting en de bevolking afnemen.



Scenario 8

Een tijdlang is het kapitaal daarvoor beschikbaar, omdat het niet wordt gebruikt om steeds meer industriële groei te realiseren. Maar geleidelijk aan groeit de last tot een niveau dat de capaciteit van de industriële sector te boven gaat, en treedt er een neergang in.

De gesimuleerde samenleving in deze computersimulatie slaagt erin om gedurende bijna 30 jaar de gewenste materiële levensstandaard te bereiken en te handhaven, maar gedurende die periode verslechteren het milieu en de bodemkwaliteit gestaag. Beperkte consumptie, beperkte gezinsgrootte en sociale discipline alleen zijn geen garantie voor duurzaamheid wanneer ze te laat worden ingevoerd, nadat het systeem zijn grenzen al heeft overschreden. Om duurzaam te blijven, moet de wereld in scenario 8 meer doen dan alleen de groei beheersen. Ze moet haar ecologische voetafdruk verlagen tot onder het draagvermogen van het mondiale milieu. Ze moet haar sociale herstructurering aanvullen met gezamenlijke, passende technologische vooruitgang.

Beperkingen op groei plus verbeterde technologieën

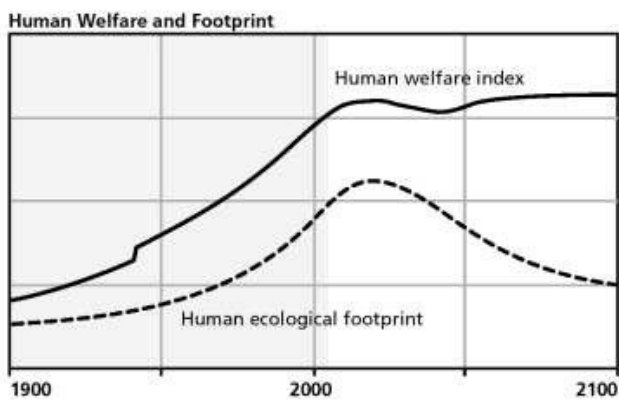
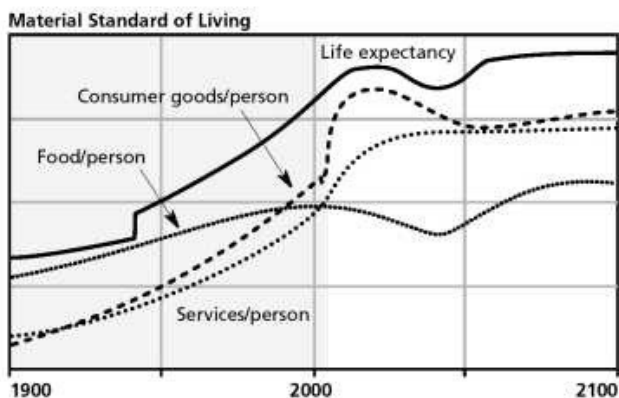
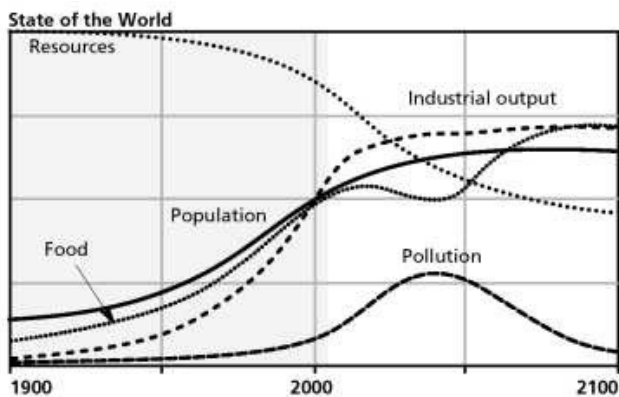
In scenario 9, figuur 7-3, besluit de modelwereld opnieuw om vanaf 2002 een gemiddelde gezinsgrootte van twee kinderen aan te houden, heeft het een perfecte effectiviteit van geboortebeperving en stelt het bescheiden grenzen aan de productie van materialen, net als in scenario 8. Bovendien begint het vanaf 2002 met de ontwikkeling van, investeringen in en het gebruik van dezelfde technologieën die we in

scenario 6 in hoofdstuk 6 hebben getest. Deze technologieën verhogen de efficiëntie van het gebruik van hulpbronnen, verminderen de vervuilende uitstoot per eenheid industriële productie, beperken de bodemerosie en verhogen de opbrengst van de grond totdat de voedselproductie per hoofd van de bevolking het gewenste niveau bereikt.

We gaan er in scenario 9, net als in scenario 6, van uit dat deze technologieën pas na een ontwikkelingsachterstand van 20 jaar effectief worden en dat ze kapitaalkosten met zich meebrengen. In scenario 6 was er onvoldoende kapitaal om de technologieën te betalen en te installeren en tegelijkertijd het hoofd te bieden aan de verschillende crises waarmee de snelgroeïende samenleving te maken kreeg. [271] In de meer ingetogen samenleving van scenario 9, waar de bevolking langzamer groeit en het kapitaal niet hoeft te worden aangewend voor verdere groei of voor het oplossen van een spiraal van problemen, kunnen de nieuwe technologieën volledig worden ondersteund.

FIGUUR 7-3 Scenario 9: De wereld streeft naar een stabiele bevolking en een stabiele industriële productie per persoon, en voegt vanaf 2002 technologieën toe om vervuiling, hulpbronnen en landbouw te verbeteren

In dit scenario worden de bevolking en de industriële productie beperkt zoals in de vorige run, en worden daarnaast technologieën toegevoegd om vervuiling te verminderen, hulpbronnen te behouden, de landopbrengst te verhogen en landbouwgrond te beschermen. De resulterende samenleving is duurzaam: bijna 8 miljard mensen leven met een hoog welzijn en een voortdurend afnemende ecologische voetafdruk.



Scenario 9

Door een eeuw lang stabiel te functioneren, verminderen ze het gebruik van niet-hernieuwbare hulpbronnen per eenheid industriële output met 80 procent en de vervuiling per eenheid output met 90 procent. Omdat de groei van de industriële output wordt beperkt, leiden deze voordelen tot een daadwerkelijke vermindering van de ecologische voetafdruk van de mens, in plaats van alleen maar meer groei mogelijk te maken.

De gestage groei van de landopbrengst neemt in de eerste helft van de eenentwintigste eeuw iets af naarmate de vervuiling toeneemt (een vertraagd effect van de uitstoot rond het einde van de twintigste eeuw, in de ‘echte wereld’ misschien geïllustreerd door het begin van de opwarming van de aarde). Maar tegen 2040 zorgen betere technologieën ervoor dat de opgehoopte vervuiling weer afneemt. De landopbrengst herstelt zich en stijgt langzaam gedurende de rest van de eeuw.

In scenario 9 stabiliseert de bevolking zich op minder dan acht miljard mensen, die gedurende de hele eeuw hun gewenste materiële levensstandaard behouden. Hun levensverwachting is hoog, hoewel deze licht daalt in de periode waarin de voedselproductie hapert. Hun dienstverlening per hoofd van de bevolking stijgt tot 50 procent boven het niveau van 2000. Aan het einde van de gesimuleerde 21e eeuw is er voldoende voedsel voor iedereen. De vervuiling bereikt een hoogtepunt en daalt voordat onomkeerbare schade wordt aangericht. Niet-hernieuwbare hulpbronnen raken zo langzaam uitgeput dat in het gesimuleerde jaar 2100 nog bijna 50 procent van de oorspronkelijke voorraad aanwezig

is.

De samenleving van scenario 9 slaagt erin om vóór 2020 de totale druk op het milieu te verminderen; vanaf dat moment neemt de totale ecologische voetafdruk van de mensheid zelfs af. De winning van niet-hernieuwbare hulpbronnen daalt na 2010. Landerosie wordt onmiddellijk na 2002 teruggedrongen. De productie van persistente verontreinigende stoffen bereikt tien jaar later een piek. Het systeem brengt zichzelf onder zijn grenzen, voorkomt een ongecontroleerde ineenstorting, handhaaft zijn levensstandaard en blijft zeer dicht bij het evenwicht. Scenario 9 illustreert duurzaamheid: het mondiale systeem is in evenwicht gekomen.

Het woord evenwicht in systeemtaal betekent dat positieve en negatieve kringen in balans zijn en dat de belangrijkste voorraden van het systeem – in dit geval bevolking, kapitaal, land, bodemvruchtbaarheid, niet-hernieuwbare hulpbronnen en vervuiling – vrij stabiel blijven. Dit betekent niet noodzakelijkerwijs dat de bevolking en de economie statisch of stagnerend zijn. Ze blijven in totaal ongeveer constant, zoals een rivier ongeveer constant in volume blijft, ook al stroomt er voortdurend water doorheen. In een ‘evenwichtige samenleving’ zoals die in scenario 9 worden er mensen geboren en sterven er mensen; er worden nieuwe fabrieken, wegen, gebouwen en machines gebouwd, terwijl oude worden ontmanteld en gerecycled. Terwijl de technologieën verbeteren, zal de stroom van materiële output per persoon vrijwel zeker van vorm veranderen, in inhoud diversifiëren en in kwaliteit toenemen.

Net zoals een rivier rond een gemiddeld debiet kan stijgen en dalen, kan een evenwichtige samenleving variëren, hetzij door bewuste keuzes, hetzij door onvoorziene kansen of rampen. Net zoals een rivier zichzelf kan zuiveren en rijkere en meer gevarieerde watergemeenschappen kan ondersteunen wanneer de vervuiling afneemt, kan een samenleving zichzelf zuiveren van vervuiling, nieuwe kennis verwerven, haar productieprocessen efficiënter maken, technologieën veranderen, haar eigen beheer verbeteren, de distributie rechtvaardiger maken, leren en evolueren. Wij denken dat een samenleving al deze dingen eerder zal doen wanneer de groeidruk wordt verlicht en wanneer zij langzaam genoeg verandert, zodat er tijd is voor volledig begrip, reflectie en keuze over de gevolgen van haar beslissingen.

De duurzame samenleving die in scenario 9 wordt geschetst, is een samenleving die volgens ons daadwerkelijk haalbaar is, gezien de kennis die wij hebben over planetaire systemen. Er wonen bijna acht miljard mensen en er is voldoende voedsel, consumptiegoederen en diensten om iedereen een comfortabel leven te bieden. Er worden aanzienlijke inspanningen geleverd en voortdurend verbeterde technologieën ingezet om land en bodem te beschermen, vervuiling te verminderen en niet-hernieuwbare hulpbronnen zo efficiënt mogelijk te gebruiken. Omdat de fysieke groei vertraagt en uiteindelijk stopt, en omdat de technologieën snel genoeg werken om de ecologische voetafdruk terug te brengen tot een duurzaam niveau, is er tijd, kapitaal en capaciteit om andere problemen op te lossen.

Wij denken dat dit niet alleen een beeld is van een haalbare

wereld, maar ook van een wenselijke wereld. Het is zeker aantrekkelijker dan de gesimuleerde werelden van het vorige hoofdstuk, die blijven groeien totdat ze door meerdere crises worden gestopt. Scenario 9 is echter niet het enige duurzame resultaat dat het World3-model kan opleveren. Binnen de grenzen van het systeem zijn er afwegingen en keuzes. Er zou meer voedsel en minder industriële productie kunnen zijn, of omgekeerd, meer mensen met een kleinere ecologische voetafdruk per persoon, of minder mensen met een grotere voetafdruk. Maar één principe is duidelijk: elk jaar dat de overgang naar een duurzaam evenwicht wordt uitgesteld, vermindert de aantrekkelijkheid van de compromissen en keuzes die na de overgang realistisch gezien beschikbaar zullen zijn. Dit wordt grafisch geïllustreerd door aan te nemen dat het beleid dat tot scenario 9 heeft geleid, twintig jaar eerder was ingevoerd.

Het verschil dat 20 jaar kan maken

In de volgende run stellen we de vraag: wat als de modelwereld het duurzaamheidsbeleid van scenario 9 (gewenste gezinsgrootte van twee kinderen, gematigde materiële levensstandaard, vooruitgang op het gebied van technologieën voor efficiënt gebruik van hulpbronnen en bestrijding van vervuiling) niet in 2002, maar in 1982 had doorgevoerd? Wat voor verschil maakt 20 jaar?

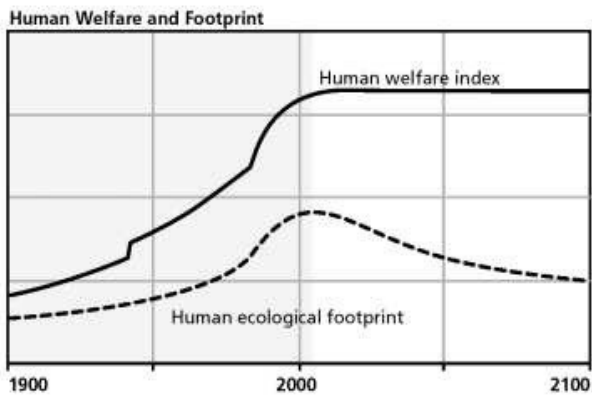
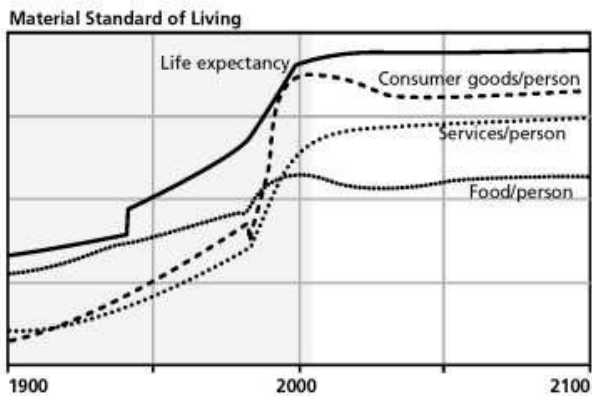
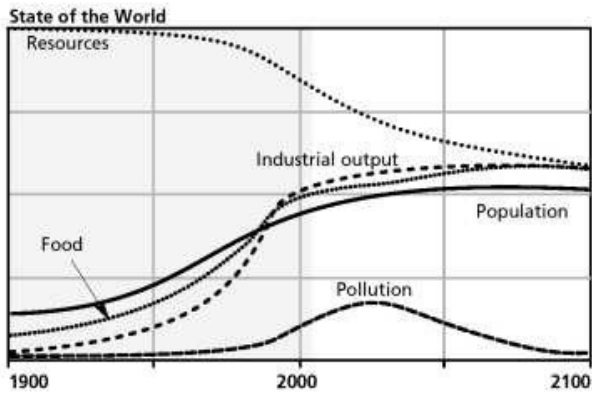
Scenario 10, figuur 7-4, is precies hetzelfde als scenario 9, behalve dat de veranderingen in 1982 zijn doorgevoerd in

plaats van in 2002. Door twintig jaar eerder over te stappen op duurzaamheid had een veiligere en welvarendere wereld sneller kunnen worden gerealiseerd, met minder aanpassingsproblemen in de landbouwsector. In dit scenario stabiliseert de bevolking zich net boven de zes miljard in plaats van bijna acht miljard. De vervuiling bereikt een veel lager niveau en 20 jaar eerder, en heeft veel minder invloed op de landbouw dan in scenario 9. De levensverwachting overschrijdt 80 jaar en blijft hoog. Aan het einde van de 21e eeuw zijn er meer niet-hernieuwbare hulpbronnen over en kost het minder moeite om ze te vinden en te winnen. De levensverwachting, de voedselproductie per hoofd van de bevolking, de dienstverlening per hoofd van de bevolking en de consumptiegoederen per hoofd van de bevolking komen allemaal op een hoger niveau uit dan in scenario 9.

De bevolking in scenario 10 kan haar levensstandaard handhaven en de verbeterende technologieën zonder problemen ondersteunen.

FIGUUR 7-4 Scenario 10: Het duurzaamheidsbeleid van scenario 9, 20 jaar eerder ingevoerd, in 1982

Deze simulatie omvat alle veranderingen die in scenario 9 zijn opgenomen, maar het beleid wordt in 1982 geïmplementeerd in plaats van in 2002. Een twintig jaar vroegere overgang naar duurzaamheid zou hebben geleid tot een lagere eindbevolking, minder vervuiling, meer niet-hernieuwbare hulpbronnen en een iets hoger gemiddeld welzijn voor iedereen.



Scenario 10

Deze samenleving heeft een aangenamer milieu, meer hulpbronnen, meer vrijheid; ze is verder verwijderd van haar grenzen en staat minder op het randje dan de samenleving in scenario 9. Die toekomst was ooit mogelijk geweest. Maar de wereldmaatschappij van 1982 heeft die kans niet gegrepen.

[275] We hebben World3 gebruikt om veel meer scenario's te ontwikkelen dan de 11 die hier zijn afgedrukt. We hebben de mogelijke effecten onderzocht van veel verschillende voorstellen voor veranderingen in het mondiale beleid die zouden kunnen helpen om de bevolking en de materiële economie terug te brengen tot een duurzaam niveau. Het model bevat natuurlijk veel vereenvoudigingen en weglatingen. De gedetailleerde cijfers die uit al deze simulaties naar voren komen, zijn dan ook niet zinvol. Maar er zijn twee algemene inzichten uit dit onderzoek die wij wel geldig en relevant achten. Ons eerste inzicht uit deze experimenten is het besef dat het uitstellen van fundamentele veranderingen de opties voor de lange termijn toekomst van de mensheid beperkt. Hoe langer we wachten met het terugdringen van de bevolkingsgroei en het stabiliseren van de productieve kapitaalvoorraden, hoe groter de bevolking wordt, hoe meer hulpbronnen er worden verbruikt, hoe hoger de vervuiling wordt, hoe meer land er wordt aangetast en hoe groter de absolute stromen van voedsel, diensten en goederen die nodig zijn om de bevolking in stand te houden. De behoeften worden groter, de problemen groter en de capaciteiten kleiner.

Dit wordt mooi geïllustreerd door het beleid van scenario 9

niet in 2002, maar 20 jaar later uit te voeren. Dan is het te laat om achteruitgang te voorkomen. Door twee decennia vertraging stijgt de bevolking veel sneller tot acht miljard dan in scenario 9. Door de vertraging van 20 jaar bij het doorvoeren van veranderingen stijgt de industriële productie veel sterker dan in scenario 9. De extra industriële activiteit, plus de vertraging van twintig jaar bij de invoering van technologieën voor verontreinigingsbeheersing, leidt tot een verontreinigingscrisis. Verontreiniging vermindert de opbrengst van het land, de voedselproductie per hoofd van de bevolking daalt, de levensverwachting daalt en ook de bevolking neemt af. De vertraging van twintig jaar bij de overgang naar duurzaamheid beperkt de keuzemogelijkheden van onze gesimuleerde wereld en stuurt deze op een turbulent en uiteindelijk mislukt pad. Beleid dat ooit toereikend was, volstaat niet langer.

Hoe hoog is te hoog?

Onze tweede conclusie uit deze experimenten is dat het stellen van te hoge eisen aan het mondiale systeem ook tot mislukking kan leiden. We hebben experimenten uitgevoerd met World3, waarbij we precies dezelfde aannames hebben gehanteerd als in scenario 9, op één verandering na: we hebben de gewenste industriële productie per persoon verdubbeld. [176] De wereld die World3 in dit geval schetst, begint ook in 2002 zijn bevolking en economie te matigen en dezelfde grondstofbesparende en vervuilingsverminderende technologieën in te voeren. Deze keer kan het doel van de modelwereld voor industriële goederen per hoofd van de be-

volking, zelfs met alle verbeterende technologieën, echter niet worden gehandhaafd voor de resulterende bevolking van meer dan zeven miljard mensen.

De industriële productie per hoofd van de bevolking bereikt kort na 2020 het streefcijfer. Deze piekt rond 2030 en daalt daarna langzaam. De voedselproductie per hoofd van de bevolking daalt snel vanaf het hoogtepunt in ongeveer hetzelfde jaar. De reden hiervoor is dat er te veel kapitaal nodig is om de hogere materiële doelstellingen te bereiken en de schade aan het milieu te compenseren. In het gesimuleerde jaar 2050 liggen de per hoofd van de bevolking beschikbare stromen van voedsel en industriële goederen voor deze ambitieuzere wereld ver onder het niveau van scenario 9, dat genoeg nam met meer gematigde doelstellingen.

Geeft deze simulatie een betrouwbare schatting van de levensstandaard die een “echte wereld” met 7,5 miljard mensen zou kunnen handhaven? Absoluut niet! De cijfers en aannames van het model zijn niet zo betrouwbaar. Geen enkel model kan nauwkeurige uitspraken doen over de wereld over 30 tot 50 jaar. Het is mogelijk dat er in werkelijkheid meer mensen kunnen worden onderhouden met een hogere levensstandaard dan in scenario 9. Gezien de optimistische aannames in World3, waarin geen oorlog, conflicten, corruptie en fouten voorkomen, is het ook mogelijk dat het consumptieniveau in scenario 9 nooit duurzaam kan worden gehandhaafd.

World3 dient in zekere zin als een schets van een architect. Het toont de onderlinge verbanden tussen belangrijke variabelen. Het helpt ons in algemene termen na te denken over

de toekomst waarin we willen leven. Maar het geeft geen details over de complexe politieke, psychologische en persoonlijke kwesties die bij de totstandkoming van de transitie komen kijken. Voor de planning daarvan is expertise nodig die wij niet hebben. En in het geval dat dit wel mogelijk is, zou dit experimenteren, nederigheid, openheid voor informatie over fouten en de bereidheid om tijdens het proces van koers te veranderen vereisen.

We leiden uit onze experimenten met het model niet noodzakelijkerwijs af dat de invoering van duurzaam beleid nu zal leiden tot een aantrekkelijke toekomst, terwijl een uitstel van 10 of 20 jaar de samenleving tot mislukking zal veroorzaken. [277] We concluderen wel dat uitstel het welvaartsniveau dat we uiteindelijk op duurzame wijze zouden kunnen genieten, verlaagt. We leiden uit onze scenario's niet af dat een consumptiedoelstelling die gelijk is aan het huidige niveau of 10 of 20 procent boven het huidige niveau duurzaam is, terwijl een consumptiedoelstelling die twee keer zo hoog is een recept voor rampspoed is. Maar we concluderen wel dat een duurzaam systeem consumptienormen kan bieden die voor velen in de wereld van vandaag aantrekkelijk zijn. Aan de andere kant kan het geen onbeperkte of zelfs zeer hoge niveaus van materiële consumptie bieden aan een bevolking van 6 tot 8 miljard mensen.

World3 kan niet worden gebruikt om een menselijke wereld die op zoek is naar haar bovenste duurzame grenzen en daarbinnen wil leven, nauwkeurig af te stemmen. Geen enkel model dat nu beschikbaar is, en waarschijnlijk ook geen enkel model dat ooit beschikbaar zal zijn, zal dat soort nu-

merieke precisie mogelijk maken. Bovendien is maximalisatie van de ecologische voetafdruk van de mens een gevaarlijk beleid, aangezien de werkelijke fysieke grenzen van de groei variabel en onzeker zijn en we daar altijd pas na enige vertraging kennis van zullen nemen en op zullen reageren. Het zou veiliger zijn, en waarschijnlijk ook om andere redenen de voorkeur verdienen, om te leren leven binnen de geschatte grenzen van de aarde, in plaats van altijd te streven naar het fysiek maximale.

World3 is een model dat is ontworpen om de gedragspatronen te onderzoeken van een onderling verbonden, niet-lineair systeem met vertraagde reacties en beperkte mogelijkheden. Het is niet bedoeld om een exacte voorspelling voor de toekomst te doen of een gedetailleerd actieplan op te stellen. Maar de resultaten die in dit hoofdstuk worden getoond, suggereren algemene conclusies die volgens ons geldig zijn en die in het publieke debat helemaal niet worden erkend. Stel je eens voor hoe anders beslissingen zouden worden genomen, investeringen zouden worden verdeeld, nieuws zou worden gebracht en wetten zouden worden besproken als de volgende informatie algemeen bekend en aanvaard zou zijn:

- Een wereldwijde overgang naar een duurzame samenleving is waarschijnlijk mogelijk zonder vermindering van de bevolking of de industriële productie.
- Een transitie naar duurzaamheid vereist echter een actieve beslissing om de ecologische voetafdruk van de mens te verkleinen. Dit vereist op zijn beurt persoonlijke beslissingen om gezinnen kleiner te maken, de doelstellingen voor industriële groei te verlagen en de efficiëntie van het

gebruik van de hulpbronnen van de aarde te verhogen.

- Er zijn veel manieren waarop een duurzame samenleving kan worden gestructureerd, veel keuzes over het aantal mensen, de levensstandaard, technologische investeringen en de verdeling van industriële goederen, diensten, voedsel en andere materiële behoeften. Deze keuzes hoeven niet overal ter wereld op dezelfde manier te worden gemaakt, maar ze moeten wel snel worden gemaakt.
- Er zijn onvermijdelijke afwegingen tussen het aantal mensen dat de aarde kan onderhouden en het materiële niveau waarop elke persoon kan worden ondersteund. De exacte numerieke afwegingen zijn niet bekend. Ze zullen in de loop van de tijd veranderen naarmate de technologie, kennis, het aanpassingsvermogen van de mens en de ondersteunende systemen van de aarde veranderen. Toch blijft de algemene implicatie bestaan: meer mensen betekent een minder duurzame materiaaldoorvoer en een kleinere ecologische voetafdruk voor elke persoon.
- Hoe langer de wereldeconomie erover doet om haar ecologische voetafdruk te verkleinen en naar duurzaamheid te evolueren, hoe lager de bevolking en de materiële levensstandaard uiteindelijk zullen zijn. Op een gegeven moment betekent uitstel instorting.
- Hoe hoger de samenleving haar doelstellingen voor de bevolking en de materiële levensstandaard stelt, hoe groter het risico dat haar grenzen worden overschreden en uitgehouden.

Volgens ons computermodel, onze mentale modellen, onze kennis van de gegevens en onze ervaring met de ‘echte we-

reld' is er geen tijd te verliezen – 2004 – om onder de grenzen te komen en doelen voor duurzaamheid te stellen. Het uitstellen van de vermindering van de doorvoer en de overgang naar duurzaamheid betekent in het beste geval dat de opties van toekomstige generaties worden beperkt en in het slechtste geval dat een ineenstorting wordt versneld.

Er is ook geen reden om tijd te verspillen. Duurzaamheid is voor veel mensen een nieuw begrip en velen vinden het moeilijk te begrijpen. Maar overal ter wereld zijn er mensen die zich bezighouden met het bedenken en realiseren van een duurzame wereld. Zij zien het als een wereld waarnaar we niet met tegenzin, maar met vreugde moeten streven, niet met een gevoel van opoffering, maar met een gevoel van avontuur. Een duurzame wereld zou heel veel beter kunnen zijn dan de wereld waarin we nu leven.

De duurzame samenleving

[279] Er zijn veel manieren om duurzaamheid te definiëren. Het eenvoudigste is om te zeggen dat een duurzame samenleving een samenleving is die generaties lang kan voortbestaan, een samenleving die voldoende vooruitziend, flexibel en wijs is om haar fysieke en sociale ondersteunende systemen niet te ondermijnen.

In 1987 verwoordde de Wereldcommissie voor Milieu en Ontwikkeling het idee van duurzaamheid op memorabele wijze:

Een duurzame samenleving is een samenleving die “voldoet aan de behoeften van het heden zonder het vermogen van toe-

komstige generaties om in hun eigen behoeften te voorzien in gevaar te brengen”.^{Q2}

Vanuit een systeemkijker is een duurzame samenleving een samenleving die beschikt over informatie-, sociale en institutionele mechanismen om de positieve feedbackloops die exponentiële bevolkings- en kapitaalgroei veroorzaken, in toom te houden. Dit betekent dat het geboortecijfer ongeveer gelijk is aan het sterftcijfer en dat de investeringsgraad ongeveer gelijk is aan de afschrijvingsgraad, tenzij of totdat technische veranderingen en maatschappelijke beslissingen een weloverwogen, beperkte verandering in de omvang van de bevolking of het kapitaal rechtvaardigen. Om maatschappelijk duurzaam te zijn, moet de combinatie van bevolking, kapitaal en technologie zo worden vormgegeven dat de materiële levensstandaard voor iedereen toereikend en veilig is en eerlijk wordt verdeeld. Om materieel en energetisch duurzaam te zijn, zou de doorvoer van de economie moeten voldoen aan de drie voorwaarden van Herman Daly:^{Q3}

- Het gebruik van hernieuwbare hulpbronnen mag niet groter zijn dan de snelheid waarmee deze worden aangevuld.
- Het gebruik van niet-hernieuwbare hulpbronnen mag niet groter zijn dan de snelheid waarmee duurzame hernieuwbare vervangingsmiddelen worden ontwikkeld.
- De uitstoot van verontreinigende stoffen mag niet groter zijn dan het assimilatievermogen van het milieu.

Een dergelijke samenleving, met een duurzame ecologische voetafdruk, zou bijna onvoorstelbaar verschillen van de samenleving waarin de meeste mensen nu leven. De mentale modellen aan het begin van de eenentwintigste eeuw zijn doordrongen van krachtige beelden van aanhoudende armoede of van snelle materiële groei en vastberaden inspanningen om die groei koste wat kost in stand te houden. [280] Gedomineerd door beelden van roekeloze groei of frustrerende stagnatie, kan het collectieve menselijke bewustzijn zich nauwelijks een zinvolle, toereikende, rechtvaardige en duurzame samenleving voorstellen. Voordat we hier kunnen uitweiden over wat duurzaamheid zou kunnen zijn, moeten we beginnen met wat het niet moet zijn.

Duurzaamheid hoeft niet ‘nulgroei’ te betekenen. Een samenleving die gefixeerd is op groei, heeft de neiging om elke kritiek op dat doel te mijden, maar kritiek op groei hoeft niet hetzelfde te zijn als het ontkennen van groei. Zoals Aurelio Peccei, oprichter van de Club van Rome, in 1977 opmerkte, zou dat slechts de ene simplificatie door de andere vervangen:

Al diegenen die hadden bijgedragen aan het ontkrachten van de mythe van de groei ... werden belachelijk gemaakt en figuurlijk opgehangen, geradbraakt en gevierendeeld door de trouwe verdedigers van de heilige koe van de groei. Sommigen van hen ... beschuldigen het rapport [*Limits to Growth*] ervan ... NULGROEI te bepleiten. Het is duidelijk dat deze mensen niets hebben begrepen, noch van de Club van Rome, noch van groei. Het begrip nulgroei is zo primitief – net als dat van oneindige groei trouwens – en zo onnauwkeurig, dat het conceptuele onzin is om erover te praten in een levende,

dynamische samenleving.^{Q4}

Een duurzame samenleving zou geïnteresseerd zijn in kwalitatieve ontwikkeling, niet in fysieke expansie. Ze zou materiële groei gebruiken als een weloverwogen instrument, niet als een eeuwigdurend mandaat. Ze zou niet voor of tegen groei zijn, maar zou een onderscheid gaan maken tussen soorten groei en doelen van groei. Ze zou zelfs rationeel kunnen nadenken over doelbewuste negatieve groei, om excessen ongedaan te maken, om onder de grenzen te komen, om te stoppen met dingen die, als alle natuurlijke en sociale kosten worden meegerekend, meer kosten dan ze opleveren.

Voordat een duurzame samenleving een besluit neemt over een specifiek groeivoornemen, zou zij zich afvragen wat het doel van de groei is, wie ervan profiteert, wat het kost, hoe lang het duurt en of de groei kan worden opgevangen door de bronnen en putten van de aarde. Een dergelijke samenleving zou haar waarden en haar beste kennis van de grenzen van de aarde toepassen om alleen die vormen van groei te kiezen die belangrijke maatschappelijke doelen dienen en tegelijkertijd de duurzaamheid vergroten. [281] Zodra een fysieke groei zijn doel heeft bereikt, zou de samenleving ermee stoppen.

Een duurzame samenleving zou de huidige ongelijke verdelingspatronen niet permanent bevriezen. Ze zou de armen zeker niet permanent in hun armoede opsluiten. Dat zou om twee redenen niet duurzaam zijn. Ten eerste zouden de armen dat niet accepteren en dat zou ook niet mogen. Ten tweede zou het in armoede houden van een deel van de bevolking, behalve onder extreme dwangmaatregelen of bij

stijgende sterftecijfers, de bevolking niet stabiliseren. Om zowel praktische als morele redenen moet elke duurzame samenleving voorzien in voldoende middelen en veiligheid voor iedereen. Om vanaf het huidige punt tot duurzaamheid te komen, zou de resterende groeimogelijkheid – de ruimte die er nog is voor meer gebruik van hulpbronnen en uitstoot van vervuilende stoffen, plus de ruimte die vrijkomt door efficiëntieverbeteringen en een gematigder levensstijl van de rijken – logischerwijs en, naar men mag hopen, met vreugde worden toegewezen aan degenen die deze het meest nodig hebben.

Een duurzame staat zou geen samenleving zijn van moedeloosheid en stagnatie, werkloosheid en faillissementen, zoals de huidige economische systemen ervaren wanneer hun groei wordt onderbroken. Het verschil tussen een duurzame samenleving en de huidige economische recessie is als het verschil tussen het opzettelijk stoppen van een auto met de remmen en het stoppen door tegen een muur te rijden. Wanneer de huidige economie te ver doorschiet, keert ze te snel en te onverwacht om dat mensen of bedrijven zich kunnen omscholen, verhuizen of aanpassen. Een bewuste overgang naar duurzaamheid zou langzaam genoeg plaatsvinden, met voldoende waarschuwing vooraf, zodat mensen en bedrijven hun plaats in de nieuwe economie kunnen vinden.

Er is geen reden waarom een duurzame samenleving technisch of cultureel primitief zou moeten zijn. Bevrijd van zowel angst als hebzucht, zou zij enorme mogelijkheden bieden voor menselijke creativiteit. Zonder de hoge kosten van groei voor zowel de samenleving als het milieu zouden

technologie en cultuur tot bloei kunnen komen. John Stuart Mill, een van de eerste (en laatste) economen die het idee van een economie in overeenstemming met de grenzen van de aarde serieus nam, zag dat wat hij een “stationaire toestand” noemde, een evoluerende en verbeterende samenleving zou kunnen ondersteunen. Meer dan 150 jaar geleden schreef hij:[282]

Ik kan ... de stationaire toestand van kapitaal en rijkdom niet beschouwen met de onbevooroordeelde afkeer die politiek economen van de oude school er over het algemeen voor aan de dag leggen. Ik ben geneigd te geloven dat dit over het geheel genomen een aanzienlijke verbetering zou zijn ten opzichte van onze huidige toestand. Ik moet bekennen dat ik niet gecharmeerd ben van het levensideaal van degenen die denken dat de normale toestand van de mens is dat hij worstelt om vooruit te komen, dat het vertrappen, verpletteren, verdringen en op elkaars hielen trappen ... het meest wenselijke lot van de mensheid is.... Het is nauwelijks nodig op te merken dat een stationaire toestand van kapitaal en bevolking geen stationaire toestand van menselijke vooruitgang impliceert. Er zou evenveel ruimte zijn voor allerlei vormen van intellectuele ontwikkeling en morele en sociale vooruitgang, evenveel ruimte voor verbetering van de levenskunst, en veel meer kans dat deze ook daadwerkelijk verbeterd zou worden.^{Q5}

Een duurzame wereld zou geen rigide wereld kunnen zijn, waarin de bevolking, de productie of wat dan ook pathologisch constant wordt gehouden. Een van de vreemdste aannames van de huidige denkmodellen is het idee dat een wereld van matiging een wereld moet zijn van strikte, gecen-

traliseerde overheidscontrole. Voor een duurzame economie is dat soort controle niet mogelijk, wenselijk of noodzakelijk. (Vanuit systeem perspectief heeft het ernstige tekortkomingen, zoals de voormalige Sovjet-Unie ruimschoots heeft aangetoond.)

Een duurzame wereld heeft natuurlijk regels, wetten, normen, grenzen, sociale afspraken en sociale beperkingen nodig, net als elke menselijke cultuur. Sommige regels voor duurzaamheid zullen anders zijn dan de regels waaraan mensen nu gewend zijn. Sommige noodzakelijke controles zijn al in opkomst, zoals bijvoorbeeld in het internationale ozonakkoord en de onderhandelingen over broeikasgassen. Maar regels voor duurzaamheid zouden, net als elke werkbare sociale regel, niet worden ingesteld om vrijheden te vernietigen, maar om vrijheden te creëren of te beschermen. Een verbod op bankovervallen beperkt de vrijheid van de dief om ervoor te zorgen dat iedereen de vrijheid heeft om veilig geld te storten en op te nemen. Een verbod op overmatig gebruik van een hernieuwbare hulpbron of op de productie van een gevaarlijke verontreinigende stof beschermt op een vergelijkbare manier essentiële vrijheden.

Er is niet veel fantasie nodig om een minimumpakket van sociale structuren te bedenken – feedbackloops die nieuwe informatie over kosten, gevolgen en sancties doorgeven – dat evolutie, creativiteit en verandering mogelijk maakt en veel meer vrijheden toestaat dan ooit mogelijk zou zijn in een wereld die tegen zijn grenzen aanloopt of deze overschrijdt. [284] Een van de belangrijkste van deze nieuwe regels zou perfect passen in de economische theorie: het zou

kennis en regulering combineren om de “externe effecten” van het marktsysteem te “internaliseren”, zodat de prijs van een product de volledige kosten (inclusief alle milieu- en sociale neveneffecten) van de productie van dat product zou weerspiegelen. Dit is een maatregel waar elk economie-handboek al decennialang (tevergeefs) om vraagt. Het zou automatisch investeringen en aankopen sturen, zodat mensen in het monetaire domein keuzes kunnen maken waar ze later geen spijt van krijgen in het domein van de reële materiële of sociale waarde.

Sommige mensen denken dat een duurzame samenleving zou moeten stoppen met het gebruik van niet-hernieuwbare hulpbronnen, omdat het gebruik ervan per definitie niet duurzaam is. Dat idee is een te rigide interpretatie van wat duurzaamheid inhoudt. Een duurzame samenleving zou zeker zorgvuldiger en efficiënter omgaan met niet-hernieuwbare schatten uit de aardkorst dan de huidige wereld. Ze zou er een juiste prijs aan toekennen, zodat er meer beschikbaar blijft voor toekomstige generaties. Maar er is geen reden om ze niet te gebruiken, zolang het gebruik ervan voldoet aan de reeds gedefinieerde criteria voor duurzaamheid, namelijk dat ze geen natuurlijke opslagplaatsen overbelasten en dat er hernieuwbare vervangingsmiddelen worden ontwikkeld.

Er is geen reden waarom een duurzame samenleving uniform zou moeten zijn. Net als in de natuur zou diversiteit in een menselijke samenleving zowel een oorzaak als een gevolg zijn van duurzaamheid. Sommige mensen die over duurzaamheid hebben nagedacht, zien het als een grotendeels gedecentraliseerd proces, waarbij lokale gemeen-

schappen meer op hun eigen hulpbronnen vertrouwen en minder op internationale handel. Zij zouden randvoorwaarden stellen die voorkomen dat de ene gemeenschap de levensvatbaarheid van andere gemeenschappen of van de aarde als geheel in gevaar brengt. Culturele verscheidenheid, autonomie, vrijheid en zelfbeschikking zouden in een dergelijke wereld niet minder, maar juist meer kunnen zijn.

Er is geen reden waarom een duurzame samenleving ondemocratisch, saai of uitdagingsloos zou moeten zijn. Sommige spellen die mensen vandaag de dag vermaken en in beslag nemen, zoals wapenwedlopen of het vergaren van onbeperkte rijkdom, zouden waarschijnlijk niet langer haalbaar, gerespecteerd of interessant zijn. Maar er zouden nog steeds spellen zijn, uitdagingen, problemen om op te lossen, manieren voor mensen om zichzelf te bewijzen, elkaar te dienen, hun vaardigheden te testen en een goed leven te leiden – misschien wel een bevredigender leven dan vandaag de dag mogelijk is.

Dat was een lange lijst van wat een duurzame samenleving niet is. [284] Door dit allemaal op een rijtje te zetten, hebben we ook impliciet aangegeven wat volgens ons een duurzame samenleving zou kunnen zijn. Maar de details van die samenleving kunnen niet worden uitgewerkt door een kleine groep computermodelleurs; daarvoor zijn de ideeën, visies en talenten van miljarden mensen nodig.

Op basis van de structurele analyse van het wereldsysteem die we in dit boek hebben beschreven, kunnen we slechts een eenvoudige reeks algemene richtlijnen bijdragen voor de herstructurering van elk systeem in de richting van duur-

zaamheid. We zetten ze hieronder op een rij. Elk ervan kan op honderden manieren worden uitgewerkt op alle niveaus: huishoudens, gemeenschappen, bedrijven, landen en de wereld als geheel. Sommige mensen zullen zien hoe ze deze richtlijnen kunnen toepassen in hun eigen leven, cultuur en politieke en economische systemen. Elke stap in een van deze richtingen is een stap in de richting van duurzaamheid, hoewel uiteindelijk alle stappen moeten worden gezet.

- Vergroot de planningshorizon. Baseer de keuze tussen de huidige opties veel meer op de kosten en baten op lange termijn, en niet alleen op de resultaten die ze vandaag op de markt of morgen bij de verkiezingen opleveren. Ontwikkel de prikkels, instrumenten en procedures die nodig zijn om de media, de markt en de verkiezingen te verplichten verslag uit te brengen over, respect te hebben voor en verantwoordelijkheid te nemen voor kwesties die zich over tientallen jaren ontfouwen.
- Verbeter de signalen. Leer meer over en monitor zowel het werkelijke welzijn van de menselijke bevolking als de werkelijke impact van menselijke activiteiten op het wereldwijde ecosysteem.^{Q6} Informeer overheden en het publiek voortdurend en snel over de economische omstandigheden, maar ook over de milieu- en sociale omstandigheden. Neem milieu- en sociale kosten op in economische prijzen; herzie economische indicatoren zoals het bbp, zodat ze kosten niet verwarren met baten, of doorvoer met welvaart, of de achteruitgang van natuurlijk kapitaal met inkomen.
- Versnel de reactietijden. Zoek actief naar signalen die aangeven wanneer het milieu of de samenleving onder

druk staat. Bepaal van tevoren wat er moet gebeuren als er problemen ontstaan (voorspel deze indien mogelijk voordat ze zich voordoen) en zorg voor de institutionele en technische voorzieningen die nodig zijn om doeltreffend op te treden. Leer mensen flexibel en creatief te denken, kritisch te denken en zowel fysieke als sociale systemen te herontwerpen. Computermodellen kunnen hierbij helpen, maar algemeen onderwijs in systeemdenken is even belangrijk. [285]

- Minimaliseer het gebruik van niet-hernieuwbare hulpbronnen. Fossiele brandstoffen, fossiel grondwater en mineralen mogen alleen met de grootst mogelijke efficiëntie worden gebruikt, waar mogelijk worden gerecycled (brandstoffen kunnen niet worden gerecycled, maar mineralen en water wel) en alleen worden verbruikt als onderdeel van een bewuste overgang naar hernieuwbare hulpbronnen.
- Voorkom de erosie van hernieuwbare hulpbronnen. De productiviteit van bodems, oppervlaktewateren, hernieuwbare grondwateren en alle levende organismen, waaronder bossen, vissen en wild, moet worden beschermd en, voor zover mogelijk, hersteld en verbeterd. Deze hulpbronnen mogen alleen worden geoogst in het tempo waarin ze zichzelf kunnen regenereren. Dat vereist informatie over hun regeneratiesnelheid en strenge sociale sancties of economische prikkels tegen overmatig gebruik.
- Gebruik alle hulpbronnen zo efficiënt mogelijk. Hoe meer menselijk welzijn kan worden verkregen binnen een bepaalde ecologische voetafdruk, hoe beter de levenskwaliteit kan zijn terwijl de grenzen worden gerespecteerd. Grote efficiëntiewinst is zowel technisch mogelijk als

economisch gunstig. Een hogere efficiëntie is essentieel als de huidige wereldbevolking en economie weer onder de grenzen willen komen zonder een ineenstorting te veroorzaken.

- Vertraag en stop uiteindelijk de exponentiële groei van de bevolking en het fysieke kapitaal. Er zijn grenzen aan de mate waarin de eerste zes punten op deze lijst kunnen worden nagestreefd. Daarom is dit laatste punt het belangrijkste. Het vereist institutionele en filosofische veranderingen en sociale innovatie. Het vereist dat er niveaus worden vastgesteld voor de bevolkingsomvang en de industriële productie die wenselijk en duurzaam zijn. Het vereist dat er doelen worden vastgesteld rond het idee van ontwikkeling in plaats van groei. Het vraagt, eenvoudig maar diepgaand, om een grotere en meer bevredigende visie op het doel van het menselijk bestaan dan louter fysieke expansie en accumulatie.

[286] We kunnen deze laatste, belangrijke stap naar duurzaamheid verder uitwerken door de dringende problemen te erkennen die ten grondslag liggen aan een groot deel van het culturele streven naar groei: armoede, werkloosheid en on-
vervulde behoeften. De groei zoals die momenteel is ge-
structureerd, lost deze problemen helemaal niet op, of
slechts langzaam en inefficiënt. Zolang er echter geen effec-
tievere oplossingen in zicht zijn, zal de samenleving haar
verslaving aan groei nooit loslaten, omdat mensen zo'n grote
behoefte hebben aan hoop. Groei is misschien een valse
hoop, maar het is beter dan helemaal geen hoop.

Om de hoop te herstellen en zeer reële problemen op te los-

sen, zijn er drie gebieden waar volledig nieuw denken nodig is.

- Armoede. Delen is een verboden woord in het politieke discours, waarschijnlijk vanwege de diepe angst dat echt delen zou betekenen dat er voor niemand genoeg zou zijn. “Voldoende” en “solidariteit” zijn begrippen die kunnen helpen bij het structureren van nieuwe benaderingen om een einde te maken aan armoede. We zitten allemaal in deze overshoot. Er is genoeg voor iedereen, als we het goed beheren. Als we het niet goed beheren, zal niemand, hoe rijk ook, aan de gevolgen ontkomen.
- Werkloosheid. Mensen hebben behoefte aan werk om zichzelf te testen en te disciplineren, om verantwoordelijkheid te nemen voor het vervullen van hun eigen basisbehoeften, om voldoening te halen uit persoonlijke participatie en om geaccepteerd te worden als volwassen, verantwoordelijke leden van de samenleving. Aan die behoefte moet worden voldaan, en niet met vernederend of schadelijk werk. Tegelijkertijd mag werk geen voorwaarde zijn om te kunnen overleven. Er is creativiteit nodig om verder te kijken dan het beperkte idee dat sommige mensen banen ‘creëren’ voor anderen, en het nog beperktere idee dat werknemers slechts kosten zijn die moeten worden bespaard. Wat nodig is, is een economisch systeem dat gebruikmaakt van en steun biedt aan de bijdragen die alle mensen kunnen leveren, dat werk, vrije tijd en economische opbrengsten eerlijk verdeelt en dat mensen die om tijdelijke of permanente redenen niet kunnen werken, niet in de steek laat.
- Onvervulde immateriële behoeften. Mensen hebben geen enorme auto's nodig; ze hebben bewondering en respect

nodig. Ze hebben geen constante stroom nieuwe kleren nodig; ze hebben het gevoel nodig dat anderen hen aantrekkelijk vinden, en ze hebben behoefte aan opwinding, afwisseling en schoonheid. Mensen hebben geen elektronisch vermaak nodig; ze hebben iets interessants nodig om hun geest en emoties bezig te houden. [287] Enzovoort. Proberen om echte maar immateriële behoeften – aan identiteit, gemeenschap, eigenwaarde, uitdaging, liefde, vreugde – te vervullen met materiële zaken, is een onverzadigbare honger creëren naar valse oplossingen voor nooit bevredigde verlangens. Een samenleving die zichzelf toestaat om haar immateriële menselijke behoeften te erkennen en te verwoorden, en om immateriële manieren te vinden om deze te bevredigen, zou veel minder materiële en energetische input nodig hebben en zou een veel hoger niveau van menselijke voldoening bieden.

Hoe kan iemand deze problemen in de praktijk aanpakken? Hoe kan de wereld een systeem ontwikkelen dat ze oplost? Dat is de kans voor creativiteit en keuze. De generaties die rond de eeuwwisseling leven, worden niet alleen opgeroepen om hun ecologische voetafdruk onder de grenzen van de aarde te brengen, maar ook om dat te doen terwijl ze hun innerlijke en uiterlijke wereld herstructureren. Dat proces zal elk aspect van het leven raken en alle soorten menselijk talent vereisen. Er zal technische en ondernemende innovatie nodig zijn, evenals gemeenschappelijke, sociale, politieke, artistieke en spirituele uitvindingen. Vijftig jaar geleden erkende Lewis Mumford de omvang van deze taak en het unieke menselijke karakter ervan; het is een taak die de mensheid zal uitdagen en ontwikkelen.

Een tijdperk van expansie maakt plaats voor een tijdperk van evenwicht. Het bereiken van dit evenwicht is de taak van de komende eeuwen... Het thema voor de nieuwe periode zal niet langer wapens en de mens of machines en de mens zijn: het thema zal de heropleving van het leven zijn, de vervanging van het mechanische door het organische en het herstel van de mens als het uiteindelijke doel van alle menselijke inspanningen. Ontplooiing, humanisering, samenwerking, symbiose: dat zijn de sleutelwoorden van de nieuwe wereldomvattende cultuur. Elk aspect van het leven zal deze verandering ondergaan: het zal niet minder invloed hebben op het onderwijs en de wetenschappelijke procedures dan op de organisatie van industriële ondernemingen, de planning van steden, de ontwikkeling van regio's en de uitwisseling van mondiale hulpbronnen.^{Q8}

[288] De noodzaak om de industriële wereld naar een volgende fase van evolutie te brengen is geen ramp, maar een geweldige kans. Hoe we deze kans kunnen grijpen, hoe we een wereld tot stand kunnen brengen die niet alleen duurzaam, functioneel en rechtvaardig is, maar ook zeer *wenselijk*, is een kwestie van leiderschap, ethiek, visie en moed, eigenschappen die niet in computermodellen te vinden zijn, maar in het hart en de ziel van de mens. Om hierover te kunnen spreken, hebben wij, de auteurs, een hoofdstuk pauze nodig. We moeten onze computers uitzetten, onze gegevens en scenario's opbergen en terugkomen in hoofdstuk 8, waar we zullen afsluiten met inzichten die evenzeer voortkomen uit ons hart en onze intuïtie als uit onze wetenschappelijke analyses.

HOOFDSTUK – 8

HULPMIDDELEN VOOR DE OVERGANG NAAR DUURZAAMHEID

*We moeten oppassen dat we niet ten prooi vallen aan wan-
hoop, want er is nog steeds een sprankje hoop.*

-EDOUARD SAOUMA, 1993

*Kunnen we landen en volkeren in de richting van duur-
zaamheid sturen? Een dergelijke verandering zou een
maatschappelijke omwenteling betekenen die qua omvang
slechts met twee andere veranderingen te vergelijken is: de
agrarische revolutie aan het einde van het neolithicum en
de industriële revolutie van de afgelopen twee eeuwen. Die
revoluties verliepen geleidelijk, spontaan en grotendeels
onbewust. Deze revolutie zal een volledig bewuste operatie
moeten zijn, geleid door de beste voorspellingen die de we-
tenschap kan bieden... Als we dit daadwerkelijk doen, zal
deze onderneming absoluut uniek zijn in het bestaan van
de mensheid op aarde.*

-WILLIAM D. RUCKELSHAUS, 1989

We schrijven, praten en werken al meer dan drie decennia
aan duurzaamheid. We hebben het voorrecht gehad om dui-
zenden collega's in alle delen van de wereld te leren kennen
die op hun eigen manier, met hun eigen talenten en in hun

eigen samenleving werken aan een duurzame samenleving. Wanneer we op officieel, institutioneel niveau handelen en naar politieke leiders luisteren, voelen we ons vaak gefrustreerd. Wanneer we met individuen werken, voelen we ons meestal bemoedigd.

Overall vinden we mensen die geven om de aarde, om andere mensen en om het welzijn van hun kinderen en kleinkinderen. Ze zien de menselijke ellende en de aantasting van het milieu om zich heen en vragen zich af of beleid dat meer groei volgens dezelfde oude patronen bevordert, de situatie kan verbeteren. [291] Velen van hen hebben het gevoel, dat ze vaak moeilijk onder woorden kunnen brengen, dat de wereld de verkeerde kant op gaat en dat er grote veranderingen nodig zijn om een ramp te voorkomen. Ze zijn bereid om zich in te zetten voor die veranderingen, als ze maar konden geloven dat hun inspanningen een positief verschil zouden maken. Ze vragen zich af: *wat kan ik doen? Wat kunnen overheden doen? Wat kunnen bedrijven doen? Wat kunnen scholen, religies en de media doen? Wat kunnen burgers, producenten, consumenten en ouders doen?*

Experimenten die door deze vragen worden geleid, zijn belangrijker dan specifieke antwoorden, hoewel er antwoorden in overvloed zijn. Er zijn “50 eenvoudige dingen die je kunt doen om de planeet te redden”. Koop bijvoorbeeld een energiezuinige auto. Recycle je flessen en blikjes, stem met kennis van zaken bij verkiezingen – als je tot de mensen behoort die gezegend zijn met auto's, flessen, blikjes of verkiezingen. Er zijn ook minder eenvoudige dingen die je kunt doen: Ontwikkel een eigen, sober en elegante levensstijl,

neem maximaal twee kinderen, pleit voor hogere prijzen voor fossiele energie (om energie-efficiëntie te stimuleren en de ontwikkeling van hernieuwbare energie te bevorderen), werk met liefde en in partnerschap om een gezin uit de armoede te helpen, vind je eigen ‘juiste levensonderhoud’, zorg goed voor een stukje land, doe wat je kunt om systemen die mensen onderdrukken of de aarde misbruiken tegen te gaan, stel je zelf verkiesbaar.

Al deze acties helpen. En natuurlijk zijn ze niet genoeg. Duurzaamheid, voldoende voorzieningen en rechtvaardigheid vereisen structurele veranderingen; ze vereisen een revolutie, niet in politieke zin, zoals de Franse Revolutie, maar in de veel diepgaandere zin van de agrarische of industriële revoluties. Recycling is belangrijk, maar op zichzelf zal het geen revolutie teweegbrengen.

Wat dan wel? Op zoek naar een antwoord hebben we het nuttig gevonden om de eerste twee grote revoluties in de menselijke cultuur te begrijpen, voor zover historici die kunnen reconstrueren.

De eerste twee revoluties: landbouw en industrie

Ongeveer 10.000 jaar geleden had de mensheid, na duizenden jaren van evolutie, het (voor die tijd) enorme aantal van ongeveer 10 miljoen bereikt. Deze mensen leefden als nomadische jagers-verzamelaars, maar in sommige regio's begon hun aantal de eens zo overvloedige planten en wild te overweldigen. Om zich aan te passen aan het probleem van de verdwijnende wilde hulpbronnen deden ze twee dingen.

Sommigen van hen intensiveerden hun nomadische levensstijl. [292] Ze verlieten hun voorouderlijke woonplaatsen in Afrika en het Midden-Oosten en bevolkten andere delen van de wereld waar veel wild te vinden was.

Anderen begonnen dieren te domesticeren, planten te verbouwen en op één plek te blijven wonen. Dat was een totaal nieuw idee. Door simpelweg op één plek te blijven, veranderden de protoboeren het aanzien van de planeet, het denken van de mensheid en de vorm van de samenleving op een manier die ze nooit hadden kunnen voorzien.

Voor het eerst was het zinvol om land te bezitten. Mensen die niet al hun bezittingen op hun rug hoefden te dragen, konden dingen verzamelen, en sommigen konden meer verzamelen dan anderen. De ideeën van rijkdom, status, erfenis, handel, geld en macht ontstonden. Sommige mensen konden leven van het overschot aan voedsel dat door anderen werd geproduceerd. Ze konden fulltime gereedschapmakers, muzikanten, schrijvers, priesters, soldaten, atleten of koningen worden. Zo ontstonden, ten goede of ten kwade, gilden, orkesten, bibliotheken, tempels, legers, competitieve spelen, dynastieën en steden.

Als erfgenamen beschouwen we de agrarische revolutie als een grote stap voorwaarts. Destijds was het waarschijnlijk een gemengde zegen. Veel antropologen denken dat landbouw geen betere manier van leven was, maar een noodzakelijke om de groeiende bevolking te kunnen voeden. Boeren die zich vestigden, haalden meer voedsel uit een hectare dan jagers-verzamelaars, maar het voedsel was van mindere voedingskwaliteit en minder gevarieerd, en het kostte veel

meer werk om te produceren. Boeren werden kwetsbaar voor weersomstandigheden, ziekten, plagen, invasies van buitenstaanders en onderdrukking door de opkomende heersende klasse, op een manier die nomaden nooit waren geweest. Mensen die niet weg trokken uit hun eigen afval, maakten voor het eerst kennis met chronische vervuiling.

Toch was landbouw een succesvol antwoord op de schaarste aan wilde dieren. Het maakte nog meer bevolkingsgroei mogelijk, wat in de loop van de eeuwen leidde tot een enorme toename, van 10 miljoen tot 800 miljoen mensen in 1750. De grotere bevolking zorgde voor nieuwe schaarste, vooral aan land en energie. Er was een nieuwe revolutie nodig.

De industriële revolutie begon in Engeland met de vervanging van verdwijnende bomen door overvloedige steenkool. Het gebruik van steenkool bracht praktische problemen met zich mee op het gebied van grondverzet, mijnbouw, waterpompen, transport en gecontroleerde verbranding. Deze problemen werden relatief snel opgelost, wat leidde tot concentraties van arbeidskrachten rond mijnen en fabrieken. [293] Dit proces bracht technologie en handel naar een prominente positie in de menselijke samenleving, boven religie en ethiek.

Opnieuw veranderde alles op een manier die niemand had kunnen voorzien. Machines, niet land, werden het centrale productiemiddel. Het feodalisme maakte plaats voor het kapitalisme en voor het afwijkende communisme. Wegen, spoorwegen, fabrieken en schoorstenen verschenen in het landschap. Steden groeiden. Ook deze verandering had voor- en nadelen. Het werk in de fabrieken was nog zwaar-

der en vernederender dan het werk op het land. De lucht en het water in de buurt van de nieuwe fabrieken werden onbeschrijfelijk vervuild. De levensstandaard van het grootste deel van de industriële arbeiders was veel lager dan die van een boer. Maar landbouwgrond was niet beschikbaar; werk in een fabriek wel.

Het is voor mensen van vandaag moeilijk te beseffen hoe ingrijpend de industriële revolutie het menselijk denken heeft veranderd, omdat dat denken nog steeds onze perceptie bepaalt. In 1988 beschreef historicus Donald Worster de filosofische impact van het industrialisme misschien wel beter dan al zijn erfgenamen en beoefenaars:

De kapitalisten ... beloofden dat ze door de technologische overheersing van de aarde iedereen een eerlijker, rationeler, efficiënter en productiever leven konden bieden.... Hun methode was simpelweg het bevrijden van individuele ondernemingen uit de ketenen van traditionele hiërarchieën en gemeenschappen, of die ketenen nu afkomstig waren van andere mensen of van de aarde ... Dat betekende dat iedereen moest leren om de aarde en elkaar met openhartigheid, energie en zelfbewustzijn te behandelen.... Mensen moeten ... voortdurend denken in termen van geld verdienen. Ze moeten alles om zich heen – het land, de natuurlijke hulpbronnen, hun eigen arbeid – beschouwen als potentiële handelswaar die op de markt winst kan opleveren. Ze moeten het recht opeisen om die handelswaar te produceren, te kopen en te verkopen zonder regulering of inmenging van buitenaf ... Naarmate de behoeften toenamen en de markten zich steeds verder uitbreidden, werd de band tussen de mens en de rest van de natuur gereduceerd tot het naaktste instrumentalisme.

[294] Dat naakte instrumentalisme leidde tot een ongelooflijke productiviteit en een wereld die nu, in verschillende mate van zelfvoorziening, 6 miljard mensen ondersteunt, meer dan 600 keer de bevolking van vóór de agrarische revolutie. Wijdverspreide markten en een groeiende vraag drijven de exploitatie van het milieu aan, van de polen tot de tropen, van de bergtoppen tot de diepten van de oceanen. Het succes van de industriële revolutie heeft, net als eerdere successen van de jacht en de landbouw, uiteindelijk zijn eigen schaarste gecreëerd, niet alleen van wild, niet alleen van land, niet alleen van brandstoffen en metalen, maar van de totale draagkracht van het mondiale milieu. De ecologische voetafdruk van de mensheid had opnieuw het duurzame niveau overschreden. Succes maakte een nieuwe revolutie noodzakelijk.

De volgende revolutie: duurzaamheid

Het is nu net zo onmogelijk voor iemand om de wereld te beschrijven die zou kunnen ontstaan uit een duurzaamheidsrevolutie, als het voor de boeren van 6000 v.Chr. was om de maïs- en sojavelden van het moderne Iowa te voorzien, of voor een Engelse mijnwerker uit 1800 om zich een geautomatiseerde assemblagelijijn van Toyota voor te stellen. Net als andere grote revoluties zal ook de komende duurzaamheidsrevolutie het aanzien van het land en de fundamenteën van de menselijke identiteit, instellingen en culturen veranderen. Net als eerdere revoluties zal het eeuwen duren voordat deze revolutie volledig tot bloei komt, hoewel ze al in gang is gezet.

Natuurlijk weet niemand hoe een dergelijke revolutie tot stand kan worden gebracht. Er is geen checklist met 20 stappen om een wereldwijde paradigmaverschuiving te bewerkstelligen. Net als de grote revoluties die eraan voorafgingen, kan deze revolutie niet worden gepland of opgelegd. Ze zal niet worden geregistreerd door een lijst met voorschriften van de overheid of een verklaring van computermodelleers. De duurzaamheidsrevolutie zal organisch zijn. Ze zal voortkomen uit de visies, inzichten, experimenten en acties van miljarden mensen. De verantwoordelijkheid om dit te realiseren ligt niet bij één persoon of groep. Niemand zal de eer krijgen, maar iedereen kan een bijdrage leveren.

Onze systeemtraining en ons eigen werk in de wereld hebben ons twee eigenschappen van complexe systemen bevestigd die relevant zijn voor het soort ingrijpende revolutie waar we het hier over hebben.

Ten eerste is informatie de sleutel tot transformatie. Dat betekent niet noodzakelijkerwijs meer informatie, betere statistieken, grotere databases of het World Wide Web, hoewel al deze zaken een rol kunnen spelen. [295] Het betekent *relevante, overtuigende, selecte, krachtige, tijdige en accurate* informatie die op nieuwe manieren naar nieuwe ontvangers stroomt, nieuwe inhoud bevat en nieuwe regels en doelen suggereert (regels en doelen die zelf ook informatie zijn). Wanneer de informatiestromen veranderen, zal elk systeem zich anders gaan gedragen. Het beleid van glasnost bijvoorbeeld – het eenvoudig openstellen van informatiekkanalen die lange tijd in de Sovjet-Unie gesloten waren – garandeerde een snelle transformatie van Oost-Europa die ieders ver-

wachtingen overtrof. Het oude systeem werd in stand gehouden door strenge controle van informatie. Het loslaten van die controle leidde tot een totale herstructurering van het systeem (turbulent en onvoorspelbaar, maar onvermijdelijk).

Ten tweede verzetten systemen zich sterk tegen veranderingen in hun informatiestromen, vooral in hun regels en doelstellingen. Het is niet verwonderlijk dat degenen die baat hebben bij het huidige systeem, zich actief verzetten tegen een dergelijke herziening. Gevestigde politieke, economische en religieuze klikjes kunnen de pogingen van een individu of een kleine groep om volgens andere regels te werken of andere doelen na te streven dan die welke door het systeem zijn goedgekeurd, vrijwel volledig aan banden leggen. Vernieuwers kunnen worden genegeerd, gemarginaliseerd, belachelijk gemaakt, promoties of middelen worden onthouden of hun stem in het openbaar worden ontnomen. Ze kunnen letterlijk of figuurlijk worden uitgeroeid.

Alleen innovators kunnen echter – door de behoefte aan nieuwe informatie, regels en doelstellingen te onderkennen, daarover te communiceren en ze uit te proberen – de veranderingen tot stand brengen die systemen transformeren. Dit belangrijke punt komt duidelijk tot uiting in een citaat dat algemeen wordt toegeschreven aan Margaret Mead: “Ontken nooit de kracht van een kleine groep toegewijde individuen om de wereld te veranderen. Dat is namelijk het enige dat ooit verandering teweeg heeft gebracht.”

We hebben op de harde manier geleerd dat het moeilijk is om een leven van materiële matiging te leiden binnen een

systeem dat consumptie verwacht, aanmoedigt en beloont. Maar men kan een heel eind komen in de richting van matiging. Het is niet gemakkelijk om energie efficiënt te gebruiken in een economie die energie-inefficiënte producten produceert. Maar men kan efficiëntere manieren zoeken, of indien nodig uitvinden, om dingen te doen, en daarbij die manieren toegankelijker maken voor anderen.

Bovenal is het moeilijk om nieuwe informatie naar voren te brengen in een systeem dat is opgezet om alleen oude informatie te horen. Probeer maar eens in het openbaar de waarde van meer groei in twijfel te trekken, of zelfs maar een onderscheid te maken tussen groei en ontwikkeling, en je zult zien wat we bedoelen. Er is moed en helderheid voor nodig om een gevestigd systeem uit te dagen. Maar het is mogelijk.

[296] In onze eigen zoektocht naar manieren om de vreedzame herstructurering van een systeem dat zich van nature verzet tegen zijn eigen transformatie te stimuleren, hebben we veel instrumenten geprobeerd. De voor de hand liggende instrumenten komen in dit boek aan bod: rationele analyse, gegevensverzameling, systeemdenken, computermodellen en de duidelijkste woorden die we kunnen vinden. Dat zijn instrumenten die iedereen met een wetenschappelijke of economische opleiding automatisch begrijpt. Net als recycling zijn ze nuttig en noodzakelijk, maar ze zijn niet voldoende.

We weten niet wat voldoende zal zijn. Maar we willen graag afsluiten met vijf andere instrumenten die we nuttig hebben gevonden. We hebben deze lijst voor het eerst geïntrodu-

ceerd en besproken in ons boek uit 1992. Onze ervaring sindsdien heeft bevestigd dat deze vijf instrumenten niet optioneel zijn, maar essentiële kenmerken voor elke samenleving die op lange termijn wil overleven. We presenteren ze hier opnieuw in ons slothoofdstuk, “niet als de manieren om naar duurzaamheid te werken, maar als *enkele manieren*”.

“We aarzelen een beetje om ze te bespreken”, schreven we in 1992, “omdat we geen experts zijn in het gebruik ervan en omdat ze woorden vereisen die wetenschappers niet gemakkelijk over de lippen komen of in hun tekstverwerker kunnen typen. Ze worden als te ‘onwetenschappelijk’ beschouwd om serieus te worden genomen in de cynische publieke arena.”

Wat zijn de instrumenten die we zo voorzichtig hebben benaderd?

Het zijn: **visievorming, netwerken, waarheid spreken, leren en liefhebben.**

Gezien de enorme veranderingen die nodig zijn, lijkt het een magere lijst. Maar elk van deze instrumenten bestaat binnen een web van positieve feedbackloops. Daarom zou een volhardende en consistente toepassing ervan, in eerste instantie door een relatief kleine groep mensen, enorme veranderingen teweeg kunnen brengen – zelfs het huidige systeem kunnen uitdagen en misschien helpen een revolutie teweeg te brengen.

“De overgang naar een duurzame samenleving zou kunnen worden bevorderd”, zeiden we in 1992, “door woorden als deze vaker te gebruiken, oprecht en zonder verontschuldig-

gingen, in de informatiestromen van de wereld.” Maar we gebruikten ze zelf met verontschuldiging, omdat we wisten hoe de meeste mensen ze zouden opvatten.

Velen van ons voelen zich ongemakkelijk bij het vertrouwen op zulke “zachte” instrumenten wanneer de toekomst van onze beschaving op het spel staat, vooral omdat we niet weten hoe we ze in onszelf of in anderen kunnen oproepen. Dus verwerpen we ze en richten we het gesprek op recycling of emissiehandel of natuurreervaten of een ander noodzakelijk maar ontoereikend onderdeel van de duurzaamheidsrevolutie – maar in ieder geval een onderdeel dat we weten hoe we moeten aanpakken.

Laten we het dus hebben over de instrumenten die we nog niet weten te gebruiken, want de mensheid moet ze snel onder de knie krijgen.

Visie

Visie betekent je eerst in algemene termen en vervolgens steeds specifieker voorstellen wat je echt wilt. Dat wil zeggen: *wat je echt wilt*, niet wat iemand je heeft geleerd te willen, en niet wat je hebt geleerd te accepteren. Visie ontwikkelen betekent dat je de beperkingen van ‘haalbaarheid’, ongelooft en teleurstellingen uit het verleden loslaat en je gedachten laat dwalen naar je meest nobele, inspirerende en dierbare dromen.

Sommige mensen, vooral jongeren, ontwikkelen met enthousiasme en gemak een visie. Anderen vinden het beangstigend of pijnlijk, omdat een rooskleurig beeld van wat zou

kunnen zijn, de realiteit des te ondraaglijker maakt. Sommige mensen geven hun visies nooit toe, uit angst om voor onpraktisch of ‘onrealistisch’ te worden gehouden. Zij zouden deze paragraaf ongemakkelijk vinden om te lezen, als ze bereid waren om hem überhaupt te lezen. En sommige mensen zijn zo verpletterd door hun ervaringen dat ze alleen maar kunnen uitleggen waarom elke visie onmogelijk is. Dat is prima; sceptici zijn ook nodig. Visie moet worden getemperd door scepticisme.

Voor de sceptici moeten we meteen zeggen dat we niet geloven dat visie iets tot stand brengt. Visie zonder actie is nutteloos. Maar actie zonder visie is richtingloos en zwak. Visie is absoluut noodzakelijk om te leiden en te motiveren. Meer nog, visie, wanneer deze breed wordt gedeeld en stevig in het oog wordt gehouden, brengt nieuwe systemen tot stand.

Dat bedoelen we letterlijk. Binnen de grenzen van ruimte, tijd, materialen en energie kunnen visionaire menselijke intenties niet alleen nieuwe informatie, nieuwe feedbackloops, nieuw gedrag, nieuwe kennis en nieuwe technologie voortbrengen, maar ook nieuwe instellingen, nieuwe fysieke structuren en nieuwe krachten binnen de mens. Ralph Waldo Emerson erkende deze diepgaande waarheid 150 jaar geleden:

Elk volk en elke mens omringt zich onmiddellijk met een materieel apparaat dat precies overeenkomt met zijn morele toestand of zijn staat van denken. Kijk hoe elke waarheid en elke dwaling, elk een gedachte van iemands geest, zich hult in samenlevingen, huizen, steden, taal, ceremonies, kranten. [298] Kijk naar de ideeën van vandaag ... zie hoe elk van deze ab-

straties zich heeft belichaamd in een indrukwekkend apparaat in de gemeenschap, en hoe hout, baksteen, kalk en steen in een handige vorm zijn gegoten, gehoorzaam aan het meesterlijke idee dat in de hoofden van vele mensen heerst ...

Hieruit volgt natuurlijk dat de geringste verandering in de mens zijn omstandigheden zal veranderen; de geringste veruiming van ideeën, de geringste verzachting van zijn gevoelens ten opzichte van andere mensen ... zou de meest opvallende veranderingen in uiterlijke zaken teweegbrengen.^{Q2}

Een duurzame wereld kan nooit volledig worden gerealiseerd voordat zij op grote schaal wordt voorgesteld. De visie moet door veel mensen worden opgebouwd voordat zij volledig en overtuigend is. Om anderen aan te moedigen zich bij dit proces aan te sluiten, zetten we hier een aantal dingen op een rijtje die we zien als we ons een duurzame samenleving voorstellen waarin we zouden willen leven – in tegenstelling tot een samenleving waarmee we genoegen zouden nemen. Dit is geenszins een definitieve lijst. We nemen deze hier alleen op om u uit te nodigen deze verder uit te werken en aan te vullen.

- Duurzaamheid, efficiëntie, toereikendheid, rechtvaardigheid, schoonheid en gemeenschap als hoogste sociale waarden.
- Materiële voldoende en veiligheid voor iedereen. Daarom, door individuele keuze en gemeenschappelijke normen, lage geboortecijfers en stabiele bevolkingsaantallen.
- Werk dat mensen waardigheid geeft in plaats van hen te vernederen. Een manier om mensen te stimuleren het bes-

te van zichzelf te geven aan de samenleving en daarvoor beloond te worden, terwijl tegelijkertijd wordt gegarandeerd dat iedereen onder alle omstandigheden voldoende wordt voorzien.

- Leiders die eerlijk, respectvol, intelligent en bescheiden zijn en meer geïnteresseerd zijn in het doen van hun werk dan in het behouden van hun baan, meer geïnteresseerd in het dienen van de samenleving dan in het winnen van verkiezingen.[299]
- Een economie die een middel is, geen doel, een economie die het welzijn van het milieu dient, en niet andersom.
- Efficiënte, hernieuwbare energiesystemen.
- Efficiënte, gesloten materiaalsystemen.
- Technisch ontwerp dat emissies en afval tot een minimum beperkt, en een maatschappelijk akkoord om geen emissies of afval te produceren die technologie en natuur niet aankunnen.
- Regeneratieve landbouw die bodems opbouwt, natuurlijke mechanismen gebruikt om voedingsstoffen te herstellen en ongedierte te bestrijden, en overvloedig, onbesmet voedsel produceert.
- Het behoud van ecosystemen in al hun verscheidenheid, met menselijke culturen die in harmonie met die ecosystemen leven; dus een grote diversiteit van zowel de natuur als de cultuur, en waardering van die diversiteit door de mens.
- Flexibiliteit, innovatie (zowel sociaal als technisch) en intellectuele uitdaging. Een bloei van de wetenschap, een

voortdurende uitbreiding van de menselijke kennis.

- Een beter begrip van hele systemen als een essentieel onderdeel van ieders opleiding.
- Decentralisatie van economische macht, politieke invloed en wetenschappelijke expertise.
- Politieke structuren die een evenwicht mogelijk maken tussen kortetermijn- en langetermijnoverwegingen; een manier om nu politieke druk uit te oefenen namens onze kleinkinderen.
- Hoogwaardige vaardigheden van burgers en overheden op het gebied van geweldloze conflictoplossing.
- Media die de diversiteit van de wereld weerspiegelen en tegelijkertijd culturen verenigen met relevante, accurate, actuele, onbevooroordeelde en intelligente informatie, gepresenteerd in hun historische en holistische context.
- Redenen om te leven en positief over onszelf te denken die niet te maken hebben met het vergaren van materiële zaken.

Netwerken

[300] Zonder netwerken zouden we ons werk niet kunnen doen. De meeste netwerken waartoe we behoren zijn informeel. Ze hebben weinig of geen budget en slechts enkele staan vermeld in de lijsten van wereldorganisaties. Ze zijn bijna onzichtbaar, maar hun effect is niet te verwaarlozen. Informele netwerken verspreiden informatie op dezelfde manier als formele instellingen, en vaak zelfs effectiever. Ze zijn de natuurlijke voedingsbodem voor nieuwe informatie

en kunnen uitgroeien tot nieuwe systeemstructuren.^{Q4}

Sommige van onze netwerken zijn zeer lokaal, andere zijn internationaal. Sommige zijn elektronisch, andere bestaan uit mensen die elkaar elke dag zien. Wat hun vorm ook is, ze bestaan uit mensen die een gemeenschappelijke interesse hebben in een bepaald aspect van het leven, die contact met elkaar houden en gegevens, hulpmiddelen, ideeën en aanmoedigingen uitwisselen, die elkaar mogen, respecteren en steunen. Een van de belangrijkste doelen van een netwerk is simpelweg om de leden ervan eraan te herinneren dat ze niet alleen zijn.

Een netwerk is niet hiërarchisch. Het is een web van verbindingen tussen gelijken, dat niet bijeengehouden wordt door dwang, verplichtingen, materiële prikkels of sociale contracten, maar door gedeelde waarden en het besef dat sommige taken samen kunnen worden uitgevoerd die afzonderlijk nooit zouden kunnen worden uitgevoerd.

We kennen netwerken van boeren die biologische methoden voor ongediertebestrijding met elkaar delen. Er zijn netwerken van milieujournalisten, “groene” architecten, computermodelleers, gameontwerpers, landtrusts en consumentencoöperaties. Er zijn duizenden netwerken ontstaan doordat mensen met gemeenschappelijke doelen elkaar hebben gevonden. Sommige netwerken worden zo druk en essentieel dat ze uitgroeien tot formele organisaties met kantoren en budgetten, maar de meeste ontstaan en verdwijnen weer wanneer dat nodig is. De komst van het World Wide Web heeft de vorming en instandhouding van netwerken zeker vergemakkelijkt en versneld.

Netwerken die zich inzetten voor duurzaamheid op zowel lokaal als mondiaal niveau zijn vooral nodig om een duurzame samenleving te creëren die in harmonie is met lokale ecosystemen en tegelijkertijd binnen mondiale grenzen blijft. Over lokale netwerken kunnen we hier weinig zeggen; onze lokale situaties verschillen van die van u. Een van de taken van lokale netwerken is het helpen herstellen van het gemeenschapsgevoel en de band met de plaats, die sinds de industriële revolutie grotendeels verloren zijn gegaan.

[301] Wat mondiale netwerken betreft, willen we ervoor pleiten dat ze echt mondiaal zijn. De middelen om deel te nemen aan internationale informatiestromen zijn even slecht verdeeld als de productiemiddelen. Er zijn naar verluidt meer telefoons in Tokio dan in heel Afrika. Dat geldt vast nog wel meer voor computers, faxapparaten, vliegverbindingen en uitnodigingen voor internationale bijeenkomsten. Maar eens te meer lijkt de wonderbaarlijke inventiviteit van de mens een verrassende oplossing te bieden in de vorm van het internet en goedkope apparatuur om toegang te krijgen.

Men zou kunnen aanvoeren dat Afrika en andere ondervertegenwoordigde delen van de wereld eerst moeten voorzien in hun behoeften aan andere zaken dan computers en internettoegang. Wij zijn het daar niet mee eens; de behoeften van kansarmen kunnen niet effectief worden gecommuniceerd en de wereld kan niet profiteren van hun bijdragen, tenzij hun stem wordt gehoord. Enkele van de grootste winsten op het gebied van materiaal- en energie-efficiëntie zijn behaald bij het ontwerp van communicatieapparatuur. Binnen een duurzame ecologische voetafdruk is het mogelijk

dat iedereen de kans krijgt om zowel wereldwijd als lokaal te netwerken. We moeten de “digitale kloof” dichten.

Als een bepaald aspect van de duurzaamheidsrevolutie u interesseert, kunt u een netwerk van gelijkgestemden opzoeken of opzetten. Het netwerk helpt u te ontdekken waar u informatie kunt vinden, welke publicaties en hulpmiddelen beschikbaar zijn, waar u administratieve en financiële steun kunt krijgen en wie u kan helpen met specifieke taken. Het juiste netwerk helpt u niet alleen om te leren, maar stelt u ook in staat om uw kennis door te geven aan anderen.

De waarheid spreken

Wij zijn niet zekerder van de waarheid dan wie dan ook. Maar we herkennen vaak een onwaarheid wanneer we die horen. Veel onwaarheden zijn opzettelijk, en worden als zodanig begrepen door zowel de spreker als de luisteraars. Ze worden naar voren gebracht om te manipuleren, te sussen of te verleiden, om actie uit te stellen, om egoïstisch handelen te rechtvaardigen, om macht te verwerven of te behouden, of om een ongemakkelijke realiteit te ontkennen.

Leugens verstoren de informatiestroom. Een systeem kan niet goed functioneren als de informatiestromen worden verstoord door leugens. [302] Een van de belangrijkste principes van de systeemtheorie, om redenen die we in dit boek hopelijk duidelijk hebben gemaakt, is dat informatie niet mag worden vervormd, vertraagd of achtergehouden.

“De hele mensheid is in gevaar”, zei Buckminster Fuller,

“als ieder van ons niet durft, nu en in de toekomst, altijd alleen de waarheid en de hele waarheid te vertellen, en dat onmiddellijk te doen – nu meteen”^{Q5}. Wanneer je met iemand praat, op straat, op het werk, tegen een menigte, en vooral tegen een kind, kun je proberen een leugen te weerleggen of een waarheid te bevestigen. Je kunt het idee ontkrachten dat meer bezittingen iemand een beter mens maken. Je kunt het idee in twijfel trekken dat meer voor de rijken de armen zal helpen. Hoe meer je onjuiste informatie kunt weerleggen, hoe beter onze samenleving beheersbaar wordt.

Hier zijn enkele veelvoorkomende vooroordelen en simplificaties, verbale valkuilen en populaire onwaarheden die we vaak tegenkomen in discussies over de grenzen van de groei. We vinden dat ze moeten worden aangegeven en vermeden, als we ooit helder willen denken over de menselijke economie en haar relatie tot een eindige aarde.

- Niet: Een waarschuwing over de toekomst is een voorspelling van onheil.
- Maar: Een waarschuwing over de toekomst is een aanbeveling om een andere weg in te slaan.
- Niet: Het milieu is een luxe, een concurrerende behoefte of een handelswaar die mensen kopen als ze het zich kunnen veroorloven.
- Maar: Het milieu is de bron van al het leven en elke economie. Uit opiniepeilingen blijkt doorgaans dat

het publiek bereid is meer te betalen voor een gezond milieu.

- Niet: Verandering is opoffering en moet worden vermeden.
- Maar: Verandering is een uitdaging en is noodzakelijk.

- Niet: Het stoppen van de groei zal de armen in hun armoede gevangen houden.
- Maar: Het is de hebzucht en onverschilligheid van de rijken die de armen in armoede gevangen houden. De armen hebben een nieuwe houding van de rijken nodig; dan zal er groei komen die specifiek is afgestemd op hun behoeften.

- Niet: Iedereen moet op het materiële niveau van de rijkste landen worden gebracht.
- Maar: Het is onmogelijk om het materiële consumptieniveau van iedereen op het niveau van de rijken te brengen. Iedereen moet in zijn fundamentele materiële behoeften worden voorzien. Materiële behoeften die dit niveau overstijgen, mogen alleen worden vervuld als dat voor iedereen mogelijk is binnen een duurzame ecologische voetafdruk.

- Niet: Alle groei is goed, zonder meer, zonder onderscheid en zonder onderzoek.
 - Noch: Alle groei is slecht.
 - Maar: Wat nodig is, is niet groei, maar ontwikkeling. Voor zover ontwikkeling fysieke uitbreiding vereist, moet deze rechtvaardig, betaalbaar en duurzaam zijn, waarbij alle werkelijke kosten worden meegerekend.
-
- Niet: Technologie zal alle problemen oplossen.
 - Noch: Technologie veroorzaakt alleen maar problemen.
 - Maar: We moeten technologieën aanmoedigen die de ecologische voetafdruk verkleinen, de efficiëntie verhogen, de hulpbronnen verbeteren, de signalen verbeteren en een einde maken aan materiële achterstand.
 - En: We moeten onze problemen als mensen benaderen en meer inzetten dan alleen technologie.
-
- Niet: Het marktsysteem zal ons automatisch de toekomst brengen die we willen.
 - Maar: We moeten zelf beslissen welke toekomst we willen. Dan kunnen we het marktsysteem, samen met vele andere organisatorische instrumenten, gebruiken om die te bereiken.

- Niet: De industrie is de oorzaak van alle problemen, of de oplossing.
 - Noch: De overheid is de oorzaak of de oplossing.
 - Ook niet: Milieuactivisten zijn de oorzaak of de oplossing.
 - Ook niet: Enige andere groep [economen komen in me op] is de oorzaak of de oplossing.
 - Maar: Alle mensen en instellingen spelen hun rol binnen de grote systeemstructuur. In een systeem dat is opgezet voor overschrijding, dragen alle spelers bewust of onbewust bij aan die overschrijding. In een systeem dat is opgezet voor duurzaamheid, zullen industrieën, overheden, milieuactivisten en vooral economen een essentiële rol spelen bij het bijdragen aan duurzaamheid. [279]
-
- Niet: Onverminderd pessimisme.
 - Ook niet: Sentimenteel optimisme.
 - Maar: De vastberadenheid om de waarheid te vertellen over zowel de successen en mislukkingen van het heden als de mogelijkheden en obstakels in de toekomst.
 - En bovenal: De moed om de pijn van het heden te erkennen en te dragen, terwijl we onze blik gericht houden op een visie van een betere toekomst.

- Niet: Het World3-model, of enig ander model, is juist of onjuist.
- Maar: alle modellen, ook die in ons hoofd, zijn een beetje juist, veel te eenvoudig en grotendeels onjuist. Hoe gaan we te werk om onze modellen te toetsen en te leren waar ze juist en onjuist zijn? Hoe spreken we met elkaar als collega-modelleers, met een gepaste mix van scepsis en respect? Hoe stoppen we met het spelen van goed-fout-spelletjes met elkaar en beginnen we met het ontwerpen van goed-fout-tests voor onze modellen in de praktijk?

Die laatste uitdaging, het uitzoeken en testen van modellen, brengt ons bij het onderwerp leren.

Leren

Visies, netwerken en waarheidspreken zijn zinloos als ze niet leiden tot actie. Er is veel te doen om een duurzame wereld tot stand te brengen. Er moeten nieuwe landbouwmethoden worden uitgewerkt. Er moeten nieuwe bedrijven worden opgericht en oude moeten worden herontworpen om hun voetafdruk te verkleinen. Land moet worden hersteld, parken moeten worden beschermd, energiesystemen moeten worden omgevormd en internationale overeenkomsten moeten worden gesloten. Er moeten wetten worden aangenomen en andere worden ingetrokken. Kinderen moeten worden onderwezen, en volwassenen ook. Er moeten films worden gemaakt, muziek worden gespeeld, boeken worden gepubli-

ceerd, websites worden opgezet, mensen worden begeleid, groepen worden geleid, subsidies worden afgeschaft, duurzaamheidsindicatoren worden ontwikkeld en prijzen worden aangepast om de volledige kosten weer te geven.

Iedereen zal zijn eigen rol vinden in al deze activiteiten. We zouden niet zo arrogant zijn om iemand anders dan onszelf een specifieke rol op te leggen. [305] Maar we willen wel één suggestie doen: wat je ook doet, doe het met nederigheid. Doe het niet als een onveranderlijk beleid, maar als een experiment. Gebruik je acties, wat die ook mogen zijn, om te leren.

De diepten van de menselijke onwetendheid zijn veel groter dan de meesten van ons willen toegeven. Dit geldt vooral in een tijd waarin de wereldeconomie meer dan ooit tevoren tot een geïntegreerd geheel versmelt, waarin die economie tegen de grenzen van een wonderbaarlijk complexe planeet aanloopt en waarin geheel nieuwe manieren van denken nodig zijn. Op dit moment weet niemand genoeg. Geen enkele leider, hoe gezaghebbend hij ook pretendeert te zijn, begrijpt de situatie. Er mag geen beleid in zijn geheel aan de hele wereld worden opgelegd. Als je je geen verlies kunt veroorloven, ga dan niet gokken.

Leren betekent de bereidheid om langzaam te gaan, dingen uit te proberen en informatie te verzamelen over de effecten van acties, inclusief de cruciale maar niet altijd welkome informatie dat de actie niet werkt. Je kunt niet leren zonder fouten te maken, daar eerlijk over te zijn en verder te gaan. Leren betekent met energie en moed een nieuwe weg verkennen, openstaan voor de verkenningen van anderen en be-

reid zijn van weg te veranderen als er een wordt gevonden die directer naar het doel leidt.

De leiders van deze wereld hebben zowel de gewoonte om te leren als de vrijheid om te leren verloren. Op de een of andere manier is er een politiek systeem ontstaan waarin de kiezers verwachten dat leiders alle antwoorden hebben, waarin slechts een klein aantal mensen tot leider wordt benoemd en waarin leiders snel ten val worden gebracht als ze onaangename maatregelen voorstellen. Dit perverse systeem ondermijnt het leiderschap van het volk en het leervermogen van de leiders.

Het is tijd dat we de waarheid over deze kwestie vertellen. De wereldleiders weten niet beter dan ieder ander hoe ze een duurzame samenleving tot stand kunnen brengen; de meesten van hen weten niet eens dat dit nodig is. Een duurzaamheidsrevolutie vereist dat ieder van ons op een bepaald niveau als lerend leider optreedt, van het gezin tot de gemeenschap, van de natie tot de wereld. En het vereist dat ieder van ons leiders ondersteunt door hen toe te staan onze zekerheid toe te geven, eerlijke experimenten uit te voeren en fouten te erkennen.

Zonder geduld en vergevingsgezindheid kan niemand vrij leren. Maar in een situatie van overschrijding is er niet veel tijd voor geduld en vergevingsgezindheid. Het vinden van het juiste evenwicht tussen de schijnbare tegenstellingen van urgentie en geduld, verantwoordelijkheid en vergevingsgezindheid is een taak die compassie, nederigheid, helderheid, eerlijkheid en – het moeilijkste woord, dat schijnbaar schaarsste van alle hulpbronnen – liefde vereist.

Liefde

In de industriële cultuur is het niet toegestaan om over liefde te spreken, behalve in de meest romantische en triviale zin van het woord. Iedereen die een beroep doet op het vermogen van mensen om broederlijke en zusterlijke liefde te beoefenen, liefde voor de mensheid als geheel, liefde voor de natuur en voor onze voedende planeet, wordt eerder belachelijk gemaakt dan serieus genomen. Het diepste verschil tussen optimisten en pessimisten is hun standpunt in het debat over de vraag of mensen in staat zijn om collectief te handelen vanuit liefde. In een samenleving die individualisme, competitiviteit en kortetermijndenken systematisch bevordert, zijn de pessimisten in de overgrote meerderheid.

Individualisme en kortetermijndenken zijn volgens ons de grootste problemen van het huidige sociale systeem en de diepste oorzaak van de onhoudbaarheid ervan. Liefde en mededogen, geïnstitutionaliseerd in collectieve oplossingen, zijn het betere alternatief. Een cultuur die niet in deze betere menselijke kwaliteiten gelooft, ze niet bespreekt en niet ontwikkelt, lijdt aan een tragische beperking van haar mogelijkheden. “Hoe goed kan een samenleving zijn, gezien de menselijke aard?”, vroeg psycholoog Abraham Maslow zich af. “Hoe goed kan de menselijke aard zijn, gezien de samenleving?”^{Q6}

De duurzaamheidsrevolutie zal bovenal een collectieve transformatie moeten zijn die het beste in de mens naar boven haalt en koestert, in plaats van het slechtste. Veel mensen hebben die noodzaak en die kans ingezien. John May-

nard Keynes schreef bijvoorbeeld in 1932:

Het probleem van gebrek en armoede en de economische strijd tussen klassen en naties is niets anders dan een angst-aanjagende puinhoop, een tijdelijke en onnodige puinhoop. Want de westerse wereld beschikt al over de middelen en de techniek om, als we de organisatie zouden kunnen creëren om ze te gebruiken, het economische probleem, dat nu onze morele en materiële energie opslokt, tot een ondergeschikte rol te reduceren....[307]

De dag is dus niet ver meer waarop het economische probleem naar de achtergrond zal verdwijnen, waar het thuishoort, en ... het toneel van hart en hoofd zal worden ingenomen ... door onze echte problemen: de problemen van het leven en van menselijke relaties, van creatie en gedrag en religie.^{Q7}

Aurelio Peccei, de grote industriële leider die voortdurend schreef over problemen van groei en grenzen, economie en milieu, hulpbronnen en bestuur, kwam altijd tot de conclusie dat de antwoorden op de problemen van de wereld beginnen met een “nieuw humanisme”. In 1981 verwoordde hij dit als volgt:

Het humanisme dat aansluit bij onze tijd moet de principes en normen vervangen en omkeren die we tot nu toe als onaanastbaar beschouwden, maar die niet langer toepasbaar zijn of in strijd zijn met ons doel; het moet de opkomst van nieuwe waardesystemen aanmoedigen om ons innerlijke evenwicht te herstellen, en van nieuwe spirituele, ethische, filosofische, sociale, politieke, esthetische en artistieke drijfveren om de leegte in ons leven te vullen; het moet in staat zijn om in

ons ... liefde, vriendschap, begrip, solidariteit, opofferingsgezindheid en gezelligheid te herstellen; en het moet ons doen inzien dat hoe nauwer deze kwaliteiten ons verbinden met andere levensvormen en met onze broeders en zusters overal ter wereld, hoe meer we zullen winnen.^{Q8}

Het is niet gemakkelijk om liefde, vriendschap, vrijgevigheid, begrip of solidariteit te beoefenen binnen een systeem waarvan de regels, doelstellingen en informatiestromen zijn afgestemd op mindere menselijke kwaliteiten. Maar we proberen het, en we sporen u aan om het ook te proberen. Wees geduldig met uzelf en met anderen wanneer u en zij worden geconfronteerd met de moeilijkheden van een veranderende wereld. Begrijp en heb begrip voor onvermijdelijke weerstand; er is weerstand, sommigen klampen zich vast aan niet-duurzame gewoonten, in ieder van ons. Zoek en vertrouw op de beste menselijke instincten in jezelf en in iedereen. Luister naar het cynisme om je heen en heb medeleven met degenen die erin geloven, maar geloof er zelf niet in.

De mensheid kan niet slagen in het avontuur om de voetafdruk van de mensheid terug te brengen tot een duurzaam niveau als dat avontuur niet wordt ondernomen in een geest van wereldwijd partnerschap. Ineenstorting kan niet worden voorkomen als mensen niet leren zichzelf en anderen te zien als onderdeel van één geïntegreerde mondiale samenleving. **[308]** Beide vereisen medeleven, niet alleen met het hier en nu, maar ook met de verre toekomst. De mensheid moet leren houden van het idee om toekomstige generaties een leefbare planeet na te laten.

Is alles wat we in dit boek hebben bepleit, van meer efficiënt gebruik van hulpbronnen tot meer medeleven, echt mogelijk? Kan de wereld daadwerkelijk onder de grenzen komen en ineenstorting voorkomen? Kan de voetafdruk van de mens op tijd worden verkleind? Is er op wereldschaal voldoende visie, technologie, vrijheid, gemeenschapszin, verantwoordelijkheidsgevoel, vooruitziendheid, geld, discipline en liefde?

Van alle hypothetische vragen die we in dit boek hebben gesteld, zijn dit de meest onbeantwoordbare, hoewel veel mensen zullen doen alsof ze ze kunnen beantwoorden. Zelfs wij, de auteurs, zijn het onderling oneens over de kansen en risico's. De rituele vrolijkheid van veel onwetende mensen, vooral wereldleiders, zou zeggen dat de vragen niet eens relevant zijn; er zijn geen zinvolle grenzen. Veel van de geïnformeerden zijn besmet met het diepe cynisme dat net onder de rituele publieke vrolijkheid schuilt. Zij zouden zeggen dat er al ernstige problemen zijn, met nog ergere in het verschiet, en dat er geen kans is om ze op te lossen.

Beide antwoorden zijn natuurlijk gebaseerd op mentale modellen. De waarheid is dat niemand het weet.

We hebben in dit boek al vaak gezegd dat de wereld niet voor een voorbestemde toekomst staat, maar voor een keuze. De keuze is tussen verschillende mentale modellen, die logischerwijs tot verschillende scenario's leiden. Het ene mentale model zegt dat deze wereld voor alle praktische doeleinden geen grenzen kent. Als we voor dat mentale model kiezen, zal dat de extractieve bedrijfsvoering stimuleren en de menselijke economie nog verder over de grenzen heen

duwen. Het resultaat zal ineenstorting zijn.

Een ander mentaal model zegt dat de grenzen echt en dichtbij zijn en dat er niet genoeg tijd is en dat mensen niet gematigd of verantwoordelijk of mededogend kunnen zijn. Tenminste niet op tijd. Dat model is zelfvervullend. Als de mensen van de wereld ervoor kiezen om het te geloven, zullen ze gelijk krijgen.

Een derde mentaal model zegt dat de grenzen reëel en dichtbij zijn en in sommige gevallen onder ons huidige doorvoerniveau liggen. Maar er is precies genoeg tijd, zonder tijd te verspillen. Er is precies genoeg energie, genoeg materiaal, genoeg geld, genoeg ecologische veerkracht en genoeg menselijke deugd om een geplande vermindering van de ecologische voetafdruk van de mensheid teweeg te brengen: een duurzaamheidsrevolutie naar een veel betere wereld voor de overgrote meerderheid. [284] Dat derde scenario zou heel goed fout kunnen zijn.

Maar het bewijs dat we gezien hebben, van wereldgegevens tot wereldwijde computermodellen, suggereert dat het denkbaar is dat het klopt. Er is geen manier om het zeker te weten, behalve door het te proberen.

BIJLAGE – 1

Veranderingen van World3 naar World3-03

Om de scenario's in dit boek voor te bereiden, hebben we een bijgewerkte versie van het computermodel World3-91 gebruikt.

World3 werd oorspronkelijk gemaakt voor gebruik in ons boek uit 1972, de eerste editie van *De grenzen aan de groei*. Het werd volledig beschreven in het technische rapport van onze studie.¹ Het model was oorspronkelijk geschreven in een computersimulatietaal genaamd DYNAMO. Tegen 1990 bood een nieuwe taal, STELLA, de beste hulpmiddelen voor onze analyse. Toen we de scenario's opstelden voor ons boek *Beyond the Limits* uit 1992, werd het World3-model omgezet van DYNAMO naar STELLA en bijgewerkt tot een nieuwe versie die World3-91 werd genoemd. De veranderingen die we voor die conversie hebben gemaakt, worden beschreven in de bijlage van *Beyond the Limits*.²

Bij het voorbereiden van de scenario's voor het huidige boek, bleek het nuttig om World3-91 enigszins bij te werken. Het resulterende model, World3-03 genaamd, is beschikbaar op een cd-rom.³ Maar het is eenvoudig om de weinige veranderingen die nodig waren om World3-91 om te zetten in World3-03 samen te vatten. Drie van de veranderingen berekenen de kosten van technologie op een ande-

re manier; één verandering zorgt ervoor dat de gewenste gezinsgrootte sterker reageert op de groei van de industriële productie. De andere veranderingen hebben geen invloed op het gedrag van het model; ze maken het alleen makkelijker om het gedrag te begrijpen. De veranderingen zijn²⁸⁵

- Verander de determinant van de kapitaalkosten van nieuwe technologie in drie sectoren. De kapitaalkosten moeten worden bepaald door geïmplementeerde technologie, niet door beschikbare technologie - in de sectoren grondstoffen, vervuiling en landbouw.

- Verander een opzoektabel in de bevolkingssector om de gewenste gezinsgrootte iets gevoeliger te maken voor hoge niveaus van industriële output per hoofd.
- Voeg de nieuwe variabele genaamd human welfare index toe - een indicator van het welzijn van de gemiddelde wereldburger. De definitie van deze index staat in bijlage 2.
- Voeg de nieuwe variabele toe genaamd menselijke ecologische voetafdruk een indicator van de totale milieubelasting van de mensheid op de planeet. De definitie van deze index wordt gegeven in bijlage 2.
- Verander de plotschaal voor bevolking om het lezen te vereenvoudigen.
- Definieer een nieuwe grafiek die het gedrag toont van de menselijke welzijnsindex en de menselijke ecologische voetafdruk voor de periode tussen 1900 en 2100.

Om de lezer te helpen geven we hier STELLA stroomdiagrammen voor de nieuwe structuren. We beschrijven ook de

plotschalen die worden gebruikt voor de scenario's in dit boek. De volledige STELLA-vergelijkingenlijst van wereld 3-03 en andere informatie staan op de cd-rom.

Verder niet opgenomen

BIJLAGE 2

Indicatoren van menselijk welzijn en ecologische voetafdruk

Achtergrond

Bij het bespreken van de toekomst van de mensheid op de planeet Aarde is het nuttig om twee concepten te definiëren: “menselijk welzijn” en de “menselijke ecologische voetafdruk”. Deze beschrijven respectievelijk de levenskwaliteit van de gemiddelde wereldburger in de breedste zin van het woord, met inbegrip van zowel materiële als immateriële componenten, en de totale milieu-impact van de mensheid op de mondiale hulpbronnen en ecosystemen.

Beide concepten zijn in principe eenvoudig te begrijpen, maar moeilijk nauwkeurig te definiëren. En de beperkingen van beschikbare tijdreeksgegevens dwingen ons tot belangrijke benaderingen wanneer we wiskundige vergelijkingen ontwikkelen om ze uit te drukken. Maar over het algemeen neemt het menselijk welzijn toe wanneer iemand zijn persoonlijke tevredenheid verhoogt zonder dat iemand anders zijn tevredenheid vermindert. De menselijke ecologische voetafdruk neemt toe wanneer er een toename is in de winning van hulpbronnen, de uitstoot van vervuiling, bodemerosie of de vernietiging van biodiversiteit, zonder een gelijktijdige vermindering van andere menselijke invloeden op

de natuur.

Om het gebruik van de twee concepten te illustreren, laten we het ideaal dat we in dit boek nastreven als volgt parafraseren: Het is om de “menselijke welvaart” te vergroten en er tegelijkertijd voor te zorgen dat de “ecologische voetafdruk” zo klein mogelijk is en - op zijn minst - onder datgene blijft wat het mondiale ecosysteem op de zeer lange termijn kan dragen - de mondiale draagkracht.

Veel analisten hebben veel tijd en moeite gestoken in het creëren van operationele indicatoren voor zowel menselijk welzijn als de ecologische voetafdruk. Het BBP per hoofd van de bevolking wordt vaak gebruikt als een eenvoudige maatstaf voor welvaart, ook al heeft het grove tekortkomingen in die rol. World2,^{Q1} de historische voorganger van World3, bevatte een fel bediscussieerde “Kwaliteit van Leven Index” die rekening hield met het effect van vier factoren op het menselijk welzijn: drukte, voedsel, vervuiling en materiële consumptie.

[315] Na de opties te hebben overwogen, kozen we voor de hieronder beschreven indicatoren. We kozen kwantitatieve indicatoren, omdat die het beste passen bij het wiskundige model World3. En in plaats van onze eigen indexen te definiëren, hebben we ervoor gekozen om bestaande indicatoren aan te passen die algemener geaccepteerd zijn.

De menselijke ontwikkelingsindex van UNDP

Als maatstaf voor menselijk welzijn kozen we de Human Development Index (HDI), die al een aantal jaren voor de

meeste landen wordt gemeten door het United Nations Development Program (UNDP). De HDI wordt jaarlijks gepubliceerd in het *Human Development Report*.^{Q2} In het rapport van 2001 definieerde UNDP de HDI:

De HDI is een samenvattende maatstaf voor menselijke ontwikkeling. Het meet de gemiddelde prestatie in een land in drie basisdimensies van menselijke ontwikkeling:

- Een lang en gezond leven, zoals gemeten door de levensverwachting bij de geboorte
- Kennis, zoals gemeten door de alfabetiseringsgraad onder volwassenen (met een gewicht van twee derde) en de gecombineerde bruto inschrijvingsgraad in het lager, middelbaar en hoger onderwijs (met een gewicht van een derde)
- Een fatsoenlijke levensstandaard, zoals gemeten door het BBP per hoofd van de bevolking (in PPP-\$, Purchasing Power Parity US dollars)^{Q3}.

De UNDP berekent de HDI als het rekenkundig gemiddelde van drie indexen (de levensverwachtingsindex, de onderwijsindex en de BBP-index) - één voor elk van de drie factoren die in het citaat hierboven worden genoemd.

De levensverwachting- en onderwijsindex stijgen lineair met de levensverwachting, geletterdheid en schoolbevolking. De BBP-index stijgt ook wanneer het BBP per hoofd van de bevolking stijgt. Maar in het laatste geval gaat de UNDP uit van sterk afnemende opbrengsten zodra het BBP per hoofd van de bevolking het niveau van 1999 van de

voormalige Oost-Europese landen overschrijdt.^{Q4}

De welzijnsindex in de wereld3

[316] Als maat voor menselijk welzijn in World3 hebben we een variabele geformuleerd die we de human welfare index (HWI) noemen. De HWI benadert de HDI van de UNDP, voor zover dit mogelijk is met alleen de variabelen in het World3-model. Het resulterende STELLA stroomdiagram wordt getoond in bijlage 1, en de gedetailleerde formulering is beschikbaar op de World3-03 cd-rom.

De index voor menselijk welzijn in World3 is de som van de indices voor levensverwachting, onderwijs en BBP, gedeeld door drie. De resulterende HWI groeit van ongeveer 0,2 in het jaar 1900 tot 0,7 in het jaar 2000. Het bereikt een maximum van 0,8 in de meest succesvolle scenario's rond 2050. Deze drie waarden komen overeen met de HDI in 1999 van respectievelijk Sierra Leone, Iran en de Baltische republieken.

De waarde van onze HWI in het jaar 1999 ligt heel dicht bij de werkelijke HDI berekend door het UNDP voor dat jaar, die 0,71 bedroeg voor het wereldgemiddelde.^{Q5}

De ecologische voetafdruk van Mathis Wackernagel

Als maat voor de “menselijke ecologische voetafdruk” hebben we de ecologische voetafdruk (EF) aangepast, zoals die in de jaren 1990 door Mathis Wackernagel en collega's is ontwikkeld. Wackernagel et al. berekenden de ecologische

voetafdruk voor een aantal landen,^{Q6} en in sommige gevallen tijdreeksen die de verandering in de tijd van de voetafdruk van individuele landen lieten zien. Zeer relevant voor het doel van dit werk, berekende Wackernagel ook de ecologische voetafdruk van de wereldbevolking en de ontwikkeling daarvan van 1961 tot 1999.^{Q7} De ecologische voetafdruk van de meeste naties in de wereld wordt tweejaarlijks gepubliceerd door het Wereld Natuur Fonds^{Q8}.

Wackernagel definieert zijn ecologische voetafdruk als het landoppervlak dat nodig is om in de huidige manier van leven te voorzien. Zijn EF wordt gemeten in (wereldwijd gemiddelde) hectaren. Hij telt de hoeveelheid akkerland, grasland, bosgrond, visgronden en bebouwd land op die nodig is om een bepaalde bevolking (land, regio, wereld) met een bepaalde levensstijl in stand te houden. Hij voegt de hoeveelheid bosgrond toe die nodig zou zijn geweest om de kooldioxide te absorberen die wordt uitgestoten door de fossiele energie die door de bevolking wordt gebruikt. [317] Alle soorten land worden vervolgens omgerekend naar land met een gemiddelde biologische productiviteit. Het aantal “gemiddelde hectares” wordt berekend met behulp van een schaafactor, die evenredig is met de biologische productiviteit van het land (het vermogen van het land om biomassa te produceren). Wackernagel wil zijn raamwerk uitbreiden met het land dat nodig is om emissies te neutraliseren (andere gassen, giftige stoffen) en het land dat nodig is voor zoetwatergebruik, maar hij is er nog niet in geslaagd om dit op een zinvolle manier te doen.

De biologische productiviteit van een stuk land hangt af van

de gebruikte technologie. Intensief gebruik van kunstmest zorgt voor een grotere oogst op dezelfde hectare. Dus meer kunstmest zal de EF verlagen, tenzij de CO₂-uitstoot van de productie van de kunstmest meer absorptiegrond vereist dan wat er bespaard is door de grotere opbrengst. Aangezien technologieën voortdurend veranderen, doen de landproductiviteiten van Wackernagel hetzelfde - in gelijke tred met de “gemiddelde technologie” die op dat moment in gebruik is.^{Q9}

De EF neemt dus toe wanneer de mensheid grotere gebieden gebruikt voor voedsel of vezels, of meer CO₂ uitstoot. Zelfs als de laatstgenoemde emissies niet worden geabsorbeerd in bossen (en in plaats daarvan accumuleren in de atmosfeer), neemt de voetafdruk - het gebied dat nodig zou zijn geweest voor absorptiedoeleinden als CO₂ zich niet zou accumuleren in de atmosfeer - toe. Op deze manier is overschrijding mogelijk, totdat de accumulatie van broeikasgassen een verandering in menselijk gedrag afdwingt die de ecologische voetafdruk verkleint.

De menselijke ecologische voetafdruk in de wereld3

Als maat voor de menselijke ecologische voetafdruk in het World3-model hebben we de index geformuleerd die we de menselijke ecologische voetafdruk (HEF) noemen. De HEF benadert de ecologische voetafdruk van Wackernagel voor zover dit mogelijk is binnen de grenzen van het beperkte aantal variabelen in het World3-model. Het resulterende STELLA stroomdiagram wordt getoond in bijlage 1, en de gedetailleerde formulering is beschikbaar op de World3-03

cd-rom.

De menselijke ecologische voetafdruk in World3 is de som van drie componenten: het bouwland dat wordt gebruikt voor de productie van gewassen in de landbouw; het stedelijk land dat wordt gebruikt voor de stedelijk-industriële transportinfrastructuur; en de hoeveelheid absorptieland die nodig is om de uitstoot van vervuilende stoffen te neutraliseren, waarvan wordt aangenomen dat deze evenredig is met de mate waarin hardnekkige vervuiling wordt gegenereerd. Alle landoppervlakten worden gemeten in miljard (10^9) hectare.

De HEF is genormaliseerd op 1 in 1970 en de resulterende index varieert van 0,5 in het jaar 1900 via 1,76 in het jaar 2000 tot zeer onhoudbare waarden boven de 3 voor korte periodes in scenario's die een overschrijding en ineenstorting laten zien. In de

meest succesvolle scenario's blijkt het mogelijk om de HEF voor het grootste deel van de eenentwintigste eeuw onder de 2 te houden. Het duurzame HEF-niveau ligt waarschijnlijk rond 1,1, een niveau dat rond 1980 werd gepasseerd.

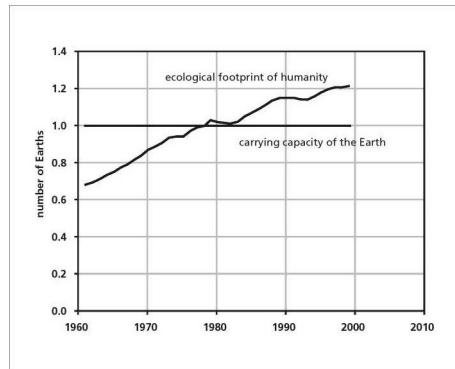
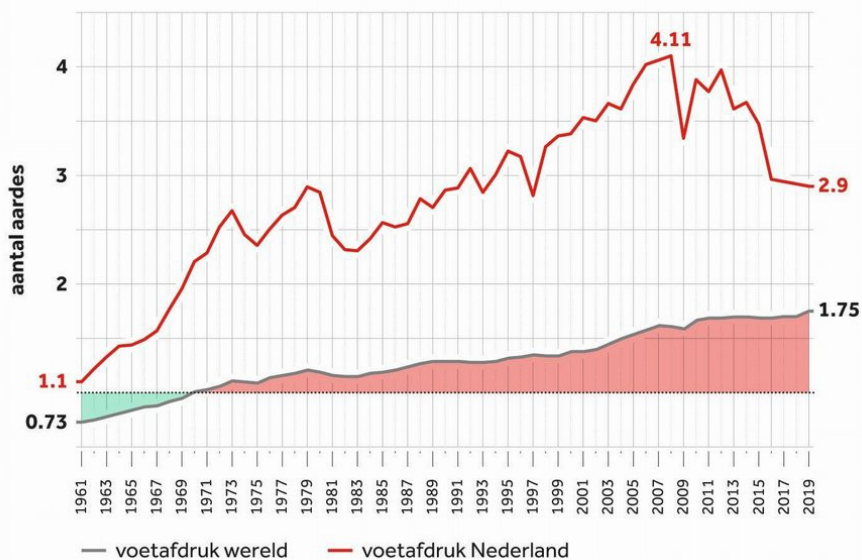


FIGURE P-1 Ecological Footprint versus Carrying Capacity

wereldwijde voetafdruk in benodigde aarden



EXTRA: Wereldwijde voetafdruk 1961-2019 en voetafdruk Nederland
Bron via NOS.nl