

Een lesje in energie

door *Thomas Homer-Dixon**
vertaald door *Gertjan Cobelens & Piper Hollier*

Wat is energie?

Energie is de hartenklop van alle samenlevingen. Net zoals wij de basiswerking van het menselijk lichaam kunnen begrijpen door de stroming van het bloed te volgen, kunnen wij veel van de activiteiten van een samenleving begrijpen door haar energiestromen te volgen.

Energie is essentieel, daar zijn wij het snel over eens. Moeilijker is het de rol die zij in ons dagelijks leven speelt geheel te doorgronden. Wanneer wij aan energie denken, hebben wij meestal benzine op het oog die we als brandstof in onze auto's gebruiken, of elektriciteit waarmee wij onze woningen verlichten en misschien het aardgas en de steenkool die wij in onze centrales verbranden. Met andere woorden: wij vatten energie doorgaans als een brandstof op, en vanwege de directe diensten die deze brandstof levert – diensten als transport, licht en warmte – hebben we de neiging haar als nuttig te beschouwen.

Natuurlijk zijn dit cruciale diensten, maar de rol die energie in ons leven speelt is eigenlijk veel fundamenteler, essentiëler en subtieler. Wij onttrekken energie uit onze omgeving om orde uit chaos en complexiteit uit eenvoud te scheppen. Vaak gebruiken wij deze orde en complexiteit om ons vervolgens te helpen bij het oplossen van de problemen waarmee wij geconfronteerd worden – bijvoorbeeld om ons tegen onze hard-

* Oorspronkelijk verschenen in *The Upside of Down*, dat najaar 2009 zal verschijnen als *Ten onder te boven* (zie www.hitte.nu).

vochtige omgeving te beschermen en ons voor aanvallen te behoeden. Simpel uitgedrukt: samenlevingen met toegang tot veel energie zijn veerkrachtiger, beter in staat zich aan te passen en beter in het oplossen van problemen.

Om het verband tussen energie en complexiteit te begrijpen, moeten wij enkele wetenschappelijke principes verkennen die bepalend zijn voor hoe energie zich gedraagt. Hoewel de meeste mensen denken dat energie iets tastbaars is, zoals benzine, is zij in werkelijkheid helemaal geen fysieke stof. Zij is in feite een eigenschap van een stof. Een handvol tarwekorrels, een loodaccu, een stroom lichtfotonen of een snelstromende rivier bezitten allemaal de eigenschap energie. Deze eigenschap kan zich van de ene plek naar de andere verplaatsen, en wanneer zij zich verplaatst, kunnen wij soms van deze energiestroom gebruikmaken om, in de woorden van de natuurkundigen, ‘werk te doen’, dat wil zeggen: om dingen in onze fysieke wereld te veranderen. De energie in een snelstromende rivier kan bijvoorbeeld werk voor ons doen wanneer deze wordt overgeheveld naar een ander systeem als een watermolen of -turbine. De energie in een loodaccu doet haar werk pas wanneer zij naar een gloeilamp of een elektromotor stroomt.

Sommige energiebronnen zijn meer geschikt voor het verrichten van werk dan andere, op voorwaarde dat wij weten hoe wij de energie die hierin aanwezig is kunnen benutten. De *hoogkwalitatieve* energie die door benzine wordt geleverd, is bijvoorbeeld meer geschikt voor het verrichten van werk dan de *laagkwalitatieve* energie van de diffuse warmte die in de grond onder onze voeten aanwezig is en die weinig ander nut heeft dan het verwarmen van andere zaken zoals gebouwen en woningen. Dus zijn bronnen van hoogkwalitatieve energie als olie, aardgas en snelstromende rivieren buitengewoon waardevol, omdat wij deze kunnen inzetten om vele verschillende diensten te leveren.

In essentie zijn er maar twee vormen van energie: kinetische energie – energie van materie die in beweging is – en potentiële energie – energie die ergens in gevangen zit. Wij kunnen potentiële energie in kinetische energie omzetten en vice

versa. Wanneer we benzine verbranden om een automotor aan te drijven, zetten wij de potentiële energie in de chemische verbindingen van benzine om in de kinetische energie van de beweging van de motor. Wanneer we echter het snelstromende water van een rivier gebruiken om een elektrische turbine aan te drijven en vervolgens de elektriciteit van de turbine gebruiken om een accu op te laden, converteren wij de kinetische energie van de rivier naar de turbine om werk te verrichten, en vervolgens gebruiken wij dit werk om potentiële energie in de accu te creëren.

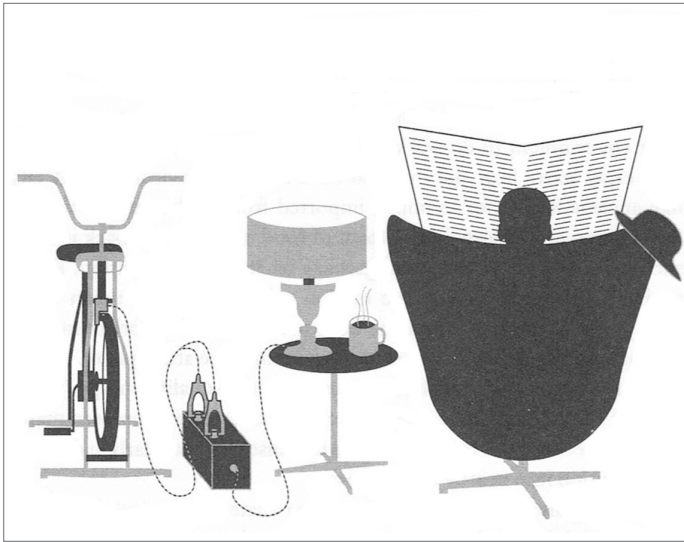
Warmte is een bijzondere vorm van kinetische energie. Zij zit opgeslagen in de vorm van trillingen en andere bewegingen van de atomen en moleculen in materialen als de muren van onze huizen of de lucht om ons heen. Vaak gebruiken wij warmte als tussenliggende vorm van energie om onze machines mee aan te drijven, bijvoorbeeld wanneer er benzine in de cilinders van een automotor ontstoken wordt en er daarbij gassen met een hoge temperatuur worden gecreëerd en de warmte van deze gassen vervolgens de kinetische energie genereert die de zuigers van de motor voortstuwt. Warmte drijft ook onze straal- en raketmotoren aan. Een beter begrip van de aard van warmte kan ons veel leren over energiestromen in zowel natuurlijke als kunstmatige systemen en bijvoorbeeld de vraag beantwoorden hoeveel werk een bepaald systeem kan verrichten.

Thermodynamica

Dit is het terrein van het onderdeel van de natuurkunde dat thermodynamica heet. De ontdekking tijdens de negentiende eeuw van de wetten van de thermodynamica – een van de belangrijkste ontdekkingen ooit in de wetenschap – hield een verbluffende doorbraak in. Deze wetten vertellen ons twee essentiële zaken over onze natuurlijke wereld. De eerste vertelt ons dat energie nooit gecreëerd of vernietigd wordt: de totale energie in een systeem en zijn omgeving (breed gede-

finieerd) blijft constant, ongeacht of het systeem een mechanisch apparaat als een automotor is, of een biologisch systeem als een menselijk lichaam, of een sociaal systeem als dat van het oude Rome. De tweede wet vertelt ons dat energie in de meeste systemen bij een normaal niveau van activiteit in kwaliteit vermindert: hoogkwalitatieve energie onttaardt in energie van een steeds lagere kwaliteit, met gewone laagkwalitatieve warmte als eindresultaat. Het is alsof energie altijd bergafwaarts stroomt, van vormen die we kunnen gebruiken om veel werk mee te verrichten naar vormen die hun nut min of meer verloren hebben. En elke keer als wij energie gebruiken om er werk mee te doen, wordt de kwaliteit van deze energie nog minder. Naarmate de energie van een systeem verder onttaardt, stellen natuurwetenschappers dat haar 'entropie' – vaak beschreven in termen van wanorde of willekeur – toeneemt.

Stel je, om een beter begrip te krijgen, voor dat je in een grote doos zit opgesloten met een krant, een stoel en een accu die op een gloeilamp is aangesloten. We gaan ervan uit dat de doos van de rest van de wereld geïsoleerd is en energie de doos niet binnen kan komen of verlaten. Binnen de doos is zowel hoogkwalitatieve energie in de accu geconcentreerd als in jezelf, in de vorm van de suikers en proteïnen die je uit je voedsel hebt verkregen en die je lichaam kracht geven. Natuurwetenschappers stellen dat zulke energie 'coherent' en 'geordend' is. Zittend in de doos kun je de krant lezen, omdat de accu zijn chemische energie in elektrische energie omzet die door de gloeilamp vervolgens tot lichtenergie wordt omgevormd. Dat licht snelt van de lamp weg en raakt de krant, de muren en andere voorwerpen in de doos waar het geabsorbeerd wordt en in laagkwalitatieve warmte onttaardt. In essentie wordt de energie van het licht als warmte door de doos verspreid, waardoor de incoherente en wanordelijke trillingen van de moleculen waaruit de dingen in de doos bestaan lichtjes toenemen. Maar de chemische energie in de accu is eindig, dus uiteindelijk raakt de accu uitgeput en dooft het licht.



Figuur 1. In een gesloten systeem brandt het licht niet eeuwig.

Jij (de persoon in de doos) hebt veel met de accu gemeen: wanneer je dingen verplaatst en tilt, zet je je chemische energie om in andere vormen van energie, zoals kinetische energie. Als er in de doos een hometrainer met dynamo staat, kun je op de pedalen trappen en het apparaat gebruiken om de verlichting van stroom te voorzien zodat je de rest van je krant kunt lezen. De doos wordt nog warmer naarmate de warmte die door je inspanning wordt gegenereerd middels zweet uit je lichaam wegvloeit. Maar zoals dat ook met de accu gebeurt, zullen jouw krachten verminderen en zal je uiteindelijk sterven. Alle hoogwaardige energie die in de accu en in je lichaam zit, zal dan zijn verbruikt, en de doos zelf zal wegtikken – net zoals een mechanische klok wegtikt – en als een zwarte driedimensionale ruimte met een gelijkmatige temperatuur eindigen.

Later zullen we zien dat samenlevingen die onvoldoende toegang tot hoogwaardige energie hebben waarschijnlijk uiteen zullen vallen. De wetten van de thermodynamica maken ons duidelijk dat ondanks het feit dat energie niet gecreëerd of

vernietigd kan worden, zij wel onvermijdelijk zal ontaarden, en zodoende steeds minder nut zal hebben voor het verrichten van werk. En als zij minder nut heeft voor werk, is zij minder bruikbaar om de complexiteit en veerkracht van een samenleving in stand te houden.

Open systemen en hogere orde

Ons licht-in-een-doos voorbeeld is volstrekt denkbeeldig en kunstmatig. Het geeft een 'gesloten' systeem weer, wat wil zeggen dat het volstrekt afgesloten is van de wereld erbuiten. Wetenschappers gebruiken zulke denkbeeldige systemen om de implicaties van hun theorieën te doordenken. Maar in werkelijkheid zijn vrijwel alle fysische, biologische, technologische en sociale systemen 'open'. Zij staan in wisselwerking met hun omgeving. Heel belangrijk is dat deze systemen vaak hoogkwalitatieve energie aan hun omgeving onttrekken om werk te doen of om de wanorde in hun kern te verminderen, en dat zij hun overbodige warmte en restmaterialen weer in de omgeving afstoten. Een stad als het oude Rome, bijvoorbeeld, importeerde zaken als hout, drinkwater en energie in de vorm van voedsel uit haar achterland, en loosde haar warmte, rioolwater en afval weer in haar omgeving. (In de tijd van haar hoogste bevolkingsniveau had Rome waarschijnlijk een jaarproductie van zo'n miljoen kubieke meter menselijke uitwerpselen.) Een moderne auto gebruikt benzine om werk te doen en de auto in beweging te zetten, en hij stoot warmte en uitlaatgassen in de dampkring uit. Een staalfabriek gebruikt ijzererts en hoogkwalitatieve energie (in de vorm van bijvoorbeeld steenkool) om samenhangende en geordende materialen als stalen staven te creëren; tijdens dit proces stoot de fabriek warmte, kooldioxide en vervuiling in nabijgelegen water en lucht uit.

Op het eerste gezicht lijkt het alsof open systemen zich niet aan het klassieke thermodynamische principe houden dat wanorde, willekeur en entropie altijd zullen toenemen.

De staalfabriek produceert immers laag-entropische stalen staven. En met de ontwikkeling van het Rijk werd de interne structuur van Rome ordelijker en complexer en werden haar diverse sociale en technologische strata diverser, meer gespecialiseerd en onderling afhankelijk.

Uiteindelijk beseften wetenschappers dat het principe dat de entropie van een systeem altijd moet toenemen alleen geldt wanneer zijn grenzen zodanig worden gedefinieerd dat vrijwel alle wisselwerkingen met zijn omgeving erin omsloten worden. Het systeem van een staalfabriek omvat dan de hele technologische infrastructuur die de ijzererts en steenkool produceert waarvan de fabriek gebruik maakt, alsmede de dampkring en de waterwegen waar zijn verontreinigende stoffen in worden geloosd. En het systeem van het oude Rome omvatte de zonne-energie die door de zon geleverd werd en het hele natuurlijke achterland van de stad met al zijn land, bossen, water en lucht. Binnen deze brede grenzen neemt de gemiddelde kwaliteit van de energie van het systeem altijd af en neemt entropie altijd toe.

Niettemin kunnen er binnen het bredere systeem delen zijn die een zeer hoge graad van orde bezitten: Binnen het grotere systeem van het rijk was Rome een zone van lage entropie. Feitelijk kunnen zaken als steden, ecosystemen en zelfs onze menselijke lichamen spontaan orde en complexiteit creëren en hun entropie al doende nog verder verlagen. Steden bouwen ingewikkelde infrastructuren voor transport, drinkwater en energie; ecosystemen worden biologisch gezien diverser zodra er nieuwe soorten ontstaan; en menselijke embryo's ontwikkelen zich in mensen met alle complexe organen en structuren van dien. Hoe kunnen zulke verbazingwekkende dingen gebeuren?

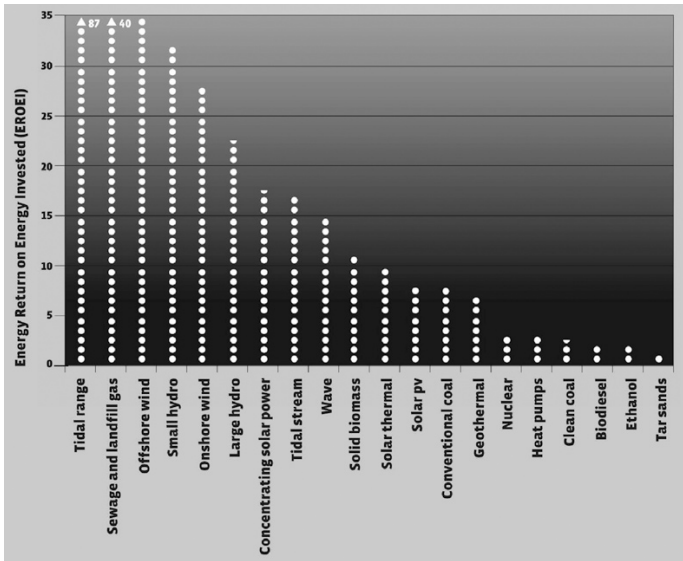
Wetenschappers kunnen het nog niet met zekerheid zeggen. Maar zij weten nu al dat systemen als steden, ecosystemen of menselijke lichamen, zoals zij het uitdrukken, 'ver van hun thermodynamisch evenwicht' verwijderd zijn. Zij kunnen spontaan orde binnen zichzelf creëren. Maar het handhaven van deze orde heeft veel weg van een poging een knikker met

je vinger tegen de wand van een kom gedrukt te houden: de knikker rolt liever omlaag de kom in – dat is zijn punt van evenwicht; dus het vergt een constante toevoer van energie om de knikker tegen de zijkant gedrukt te houden. Analoog hieraan hebben steden, ecosystemen en menselijke lichamen een constante toevoer van hoogkwalitatieve energie nodig om hun complexiteit en orde te handhaven – hun positie die ver van het thermodynamisch evenwicht staat – tegenover de meedogenloze neiging van de natuur om in de richting van ontarding en wanorde te tenderen. En naarmate het systeem groter en complexer wordt, is er steeds meer energie nodig om het systeem op gang te houden.

Energy Return On Investment (EROI)

Het blijkt dat wij elk project dat energie zou moeten genereren, waaronder landbouw, op dezelfde wijze kunnen evalueren als dat wij een financiële investering zouden doorrekenen: wij vergelijken de grootte van de investering met de grootte van hetgeen de investering oplevert. In het geval van energieprojecten noemen energiedeskundigen deze verhouding de *energy return on investment* of EROI. Wij berekenen de EROI-factor door de hoeveelheid energie die een project oplevert te delen door de hoeveelheid energie die het verbruikt. In het geval van bijvoorbeeld een moderne steenkolenmijn delen wij de bruikbare energie in de steenkool die door de mijn geproduceerd wordt, door de optelsom van alle energie die nodig is om de steenkool te delven en geschikt te maken om verbrand te worden, inclusief de energie in de dieselbrandstof die door de drillboren, graafmachines en kiepauto's gebruikt wordt en de energie in de elektriciteit die de machines gebruiken die de steenkool vermalen en sorteren.

Als je geïnteresseerd bent in de rol van energie in de menselijke samenleving houdt dan de EROI van de verschillende energiebronnen in de gaten, want deze is een van de nuttigste meetinstrumenten voor het vergelijken van de relatieve waar-



Figuur 2. De EROI van een reeks energiebronnen. Let op de bijzonder lage EROI vanaf kernenergie. (bron: *The Ecologist/Hopkins*)

de van deze bronnen. Er is een veel hogere EROI dan 1 op 1 nodig om een samenleving op gang te houden, want energie is ook noodzakelijk om de machines te bouwen die de energie gebruiken en ook om de benodigde arbeidskrachten te voeden, te huisvesten, op te leiden en van gezondheidszorg te voorzien, enzovoort.

In agrarische samenlevingen zoals die van de oude Romeinen, waar mensen het grootste deel van het agrarische werk deden, moest ook de voedselproductie een EROI van ver boven de 1 op 1 hebben, opdat de samenleving zich een zeker niveau van sociale en technologische complexiteit kon veroorloven. In elke complexe samenleving parasiteren degenen die geen boer zijn goed beschouwd op degenen die de energiebronnen verbouwen – de granen, de groenten, het fruit en het vlees – die onze lichamen in beweging houden.

Om de waarheid van deze beweringen beter te begrijpen: stel je een agrarische samenleving voor waarin mensen al het

werk doen inclusief al het agrarische werk – waar met andere woorden geen ossen of andere trekdieren worden gebruikt – en die een EROI van enkel 1 op 1 heeft. In zo'n samenleving zouden de boeren zelf alle energie verbruiken die de landbouw oplevert: iedereen zou uitsluitend moeten werken om zichzelf te voeden, dus zou er geen energie overblijven om andere mensen te onderhouden die andere dingen doen – niet eens om huizen voor de boeren te bouwen, boerengereedschappen te maken of het eten klaar te maken. Als de EROI van deze samenleving onder de 1 op 1 zou vallen, dan zouden de boeren niet eens genoeg energie genereren om zichzelf in stand te houden en zouden zij langzaamaan creperen.

Wat vertelt dit ons over het dilemma waar de mensheid zich aan het begin van de 21ste eeuw voor geplaatst ziet? Naar mijn mening brengt dit een tweetal lessen voor het voetlicht.

Ten eerste staan onze rijke, hoogtechnologische Westerse samenlevingen er wat betreft hun dwingende energiebehoefte niet anders voor dan de arme zich ontwikkelende samenlevingen of, om maar iets te noemen, de oude Romeinen. Al onze samenlevingen hebben alleen al behoefte aan enorme stromen hoogkwalitatieve energie om hun complexiteit en orde te handhaven, om van een toename daarvan maar niet te spreken (om zich, in de onhandige terminologie van de natuurkunde, ver van hun thermodynamisch evenwicht te houden). Zonder een constante toevoer van hoogkwalitatieve energie hebben complexe samenlevingen geen veerkracht tegen schokken van buitenaf. In feite is het vrijwel zeker dat zij dan niet zouden kunnen overleven. Deze steeds aanwezige gevaren dwingen samenlevingen ertoe onophoudelijk te zoeken naar energiebronnen met de hoogst mogelijke *return on investment* (EROI). Hierdoor worden samenlevingen ook gedwongen om de gebieden waar hun energie vandaan komt agressief te bestieren en te organiseren, om hun belangen, betrekkingen en veelal hun politieke en economische overheersing naar ver buiten hun huidige grenzen te verleggen – zoals we vandaag de dag zien bij de Amerikaanse betrokkenheid in Irak en de Perzische Golf.

De tweede les ligt minder voor de hand, maar is belangrijker: na een zeker moment en zonder de vondst van dramatische nieuwe technologieën om energie te vinden en te gebruiken, begint het resultaat van de investeringen van een samenleving om energie te produceren – de EROI – af te nemen. Het Romeinse imperium zat vast in een energiesysteem dat op voedsel gebaseerd was. Naarmate het imperium groter werd en tot zijn volle wasdom kwam; naarmate het de beste landbouwgronden rond de Middellandse Zee benutte en in sommige gevallen uitputte om vervolgens verder te trekken om armere landbouwgronden te bewerken; en naarmate de bevoorradingsroutes van het graan naar de belangrijkste steden steeds langer en kronkeliger werden, was er steeds meer werk nodig om elke additionele duizend kilo graan te produceren.

Wat betreft veel van haar vitale energiebronnen als conventionele olie, aardgas en waterkracht wordt de mensheid vandaag de dag met eenzelfde trend geconfronteerd. Wij hebben de grootste en meest toegankelijke olie- en gasvelden al ontdekt en aangeboord en de beste waterkrachtlocaties al in gebruik genomen. Naarmate we steeds dieper moeten boren en steeds verder buiten de eigen grenzen moeten gaan om olie en gas te halen, en wij ons meer en meer tot alternatieven als teerzanden, zonnekracht, windenergie en kernenergie moeten wenden, komen we erachter dat wij steeds grotere hoeveelheden energie moeten investeren om energie te verkrijgen.

Hoewel de hedendaagse samenlevingen met dezelfde dringende energiebehoefte worden geconfronteerd als de oude Romeinen, wijken zij op een cruciaal onderdeel van hen af: moderne samenlevingen zijn veel complexer en meer geordend en bevinden zich veel verder van hun thermodynamisch evenwicht. Met andere woorden, onze samenlevingen zijn als de knikker die naar de bodem van de kom wil rollen, en in vergelijking met het oude Rome houden wij de knikker veel hoger tegen de zijkant van de kom. Reusachtige stromen van hoogkwalitatieve energie maken dit mogelijk. Wanneer wij deze stromen niet langer in stand kunnen houden, zullen onze samenlevingen weer naar hun evenwicht vallen – wat er in

essentie op neerkomt dat hun complexiteit uiteen zal vallen. En dat uiteenvallen, mocht het zover komen, zou de ondergang van Rome verre in de schaduw stellen.

Nederland maal tien

Zijn we in staat de transitie van energiebronnen met een hoge EROI naar die met een lage te maken, nu het steeds moeilijker wordt om olie te vinden? Ergens tijdens de jaren '60 passeerde de Verenigde Staten een kritieke drempel toen haar EROI van de binnenlandse oliewinning begon te dalen, en de kans is groot dat sinds die tijd zo'n beetje alle overige olieproducerende regio's in de wereld dezelfde drempel hebben gepasseerd (vaak duurt het een tijd voordat de gegevens duidelijk laten zien dat de drempel gepasseerd is). Bijna niemand – en zeker niet de leiders van onze samenleving – slaagt erin de betekenis van deze verandering ten volle te doorzien, hoewel ze van buitengewoon verstrekkend belang is. Deze verandering markeert namelijk het begin van een verschuiving van onze moderne industriële beschaving naar een andersoortige beschaving.

We kunnen nog niet zeggen hoe deze nieuwe samenleving eruit zal zien, maar we mogen er wel op rekenen dat, in vergelijking met onze ervaringen van de afgelopen anderhalve eeuw sinds de industriële revolutie, energie veel duurder zal worden naargelang goedkope olie meer en meer door niet-conventionele en duurzame bronnen vervangen wordt. De prijsstijging zal niet constant en lineair zijn, maar zal scherpe pieken en dalen te zien geven, terwijl de mondiale economie zich aan de situatie probeert aan te passen. Zelfs een gemiddelde stijging in reële energiekosten van slechts 2,5 procent per jaar – een groeicijfer waar we de laatste jaren voortdurend overheen zijn gegaan – zal na een eeuw in een tienvoudige prijsstijging resulteren.

Kunnen we verstandig en veilig door deze transitie heen komen? Niet als we weigeren om de consequenties van deze overgang in te zien en we gewoon doorgaan met wat we nu

aan het doen zijn. We zijn druk bezig om de groeifase van het economische, ecologische en sociale systeem van onze planeet te verlengen. Tijdens dit proces wordt ons planetaire systeem steeds complexer, efficiënter, meer onderling verbonden en gereguleerd. Uiteindelijk komt de dag dat het systeem minder veerkrachtig wordt. (Zie de paragraaf *Ecosystemen* op p. 29.) Feitelijk kan de dag al zijn aangebroken dat het systeem een deel van zijn veerkracht aan het verliezen is.

Een aantal factoren stuwt deze veranderingen voort. Ten eerste is er de wanhopige behoefte van bedrijven, economieën en samenlevingen om prestaties en productiviteit te maximaliseren, wat hen dwingt om hun organisatorische en technologische complexiteit, hun interne doelmatigheid en regelgeving en de snelheid waarmee zij materialen, energie en informatie produceren en transporteren steeds verder op te schroeven. Ten tweede, als de wereldeconomie ten opzichte van de omvang van de voorraden aan hulpbronnen op aarde en van haar biosfeer steeds verder uitdijt, zullen wij ook de hulpbronnen en de energie veel efficiënter moeten gaan gebruiken en nog zorgvuldiger in onze interacties met de natuur moeten zijn – en dit betekent steeds ingewikkelder technologieën, procedures, voorschriften en instellingen. Uitgaande van de huidige trends zal de mondiale productie van goederen en diensten tegen 2050 verviervoudigen, van 60 biljoen dollar naar 240 biljoen dollar (uitgedrukt in dollars van 2005). Als wij zo'n reusachtige economie draaiende willen houden – en als we tegelijkertijd willen vermijden dat we het leefklimaat van de planeet daarbij verwoesten –, dan zullen wij alles uit de kast moeten halen, van hoogtechnologische programma's voor het opwekken van energie en waterbesparing tot enorme bureaucratieën om mensen en bedrijven op te sporen en te bestraffen die teveel koolstofdioxide uitstoten. Naarmate onze EROI de komende decennia verder terugloopt, zullen we tot slot veel hoger ontwikkelde technologieën en organisaties nodig hebben om de wereld op minuscule olievoorraden af te speuren en energie van lage kwaliteit te peuren uit een oneindige reeks centrales voor zonne-, wind- en geothermische energie.

In de komende decennia zal het kortom steeds lastiger worden om onze problemen op het gebied van natuurlijke hulpbronnen en het milieu op te lossen; onze bedrijven, organisaties en samenlevingen zullen daarom steeds complexer moeten worden om tot goede oplossingen te komen; en de oplossingen die zij voortbrengen – of ze nu van technologische of institutionele aard zijn – zullen eveneens steeds complexer moeten zijn. Het hedendaagse Nederland geeft ons een voorproefje van hoe deze toekomst eruit kan zien. Als een van de dichtstbevolkte landen ter wereld heeft Nederland een zwaar geïndustrialiseerde, energie-intensieve economie met een hoog consumptieniveau, en de Nederlanders moeten de zee onophoudelijk terugdringen om op hun kleine lapje grond te overleven. Door de eeuwen heen hebben de Nederlanders op deze situatie gereageerd door verbazingwekkend complexe systemen van technologie en sociale verordeningen in het leven te roepen. Daartoe horen de gedetailleerde wetten om het land maximaal te benutten en natuurlijk het ingewikkelde systeem van dijken, waterwegen en gemalen. Naarmate Nederland rijker en dichter bevolkt werd en steeds verder ingekapseld raakte door het tekort aan hulpbronnen en milieuproblemen, is zowel de regelgeving als de technologie steeds complexer en duurder geworden.

Als we op een mondiale samenleving en economie uitkomen die op die van Nederland lijkt, zou dat dan echt zo erg zijn? Het gaat immers prima met de Nederlanders. Jammer genoeg zal zelfs de enorme complexiteit van het hedendaagse Nederland bij lange na niet voldoende zijn om de hordes aan planeetbrede uitdagingen aan te pakken waar we binnenkort mee geconfronteerd worden, zoals klimaatverandering en steeds ernstiger tekorten aan hoogkwalitatieve energie. Wij zullen een mondiale samenleving moeten creëren die ik ‘Nederland maal tien’ ben gaan noemen, met regels en regulerende instellingen die veel geraffineerder, diepgaander en duurder zijn dan wat de Nederlanders vandaag de dag kennen. Is dit echt de toekomst die wij voor onszelf en onze kinderen willen?