

ORATIE

# OBESITAS EN ENERGIE:

NAAR EEN EFFICIËNT GEBRUIK VAN GRONDSTOFFEN

Inaugurele rede in verkorte vorm uitgesproken  
op 29 april 2009  
bij de aanvaarding van het ambt  
van hoogleraar 'Energie, Materialen en Milieu'  
aan de faculteit Bètawetenschappen  
van Universiteit Utrecht

Ernst Worrell



Universiteit Utrecht

[Faculteit Bètawetenschappen  
Scheikunde]

**MIJNHEER DE RECTOR MAGNIFICUS,  
GEACHTE AANWEZIGEN,**

**I have a dream!**

Ik droom van een duurzame en gezonde wereld. Ik zie een wereld voor me waarin wij ons dagelijks leven hebben georganiseerd op een wijze dat we onze grondstoffen en energie duurzaam inzetten. Een wereld die niet meer grondstoffen gebruikt dan zij nodig heeft om in de behoeften van ons dagelijks leven te voorzien, en die aan toekomstige generaties de middelen nalaat om op duurzame wijze in haar levensbehoeften te kunnen voorzien.

Een wereld waarin u wakker wordt in een huis dat geen externe warmtebronnen nodig heeft en geheel zelfvoorzienend is, uw krantje leest op een OLED display die u kunt oprollen, en die nauwelijks energie gebruikt en elke ochtend een nieuwe krant ontvangt, en u geen rekeningen meer aan een elektriciteitsbedrijf betaalt!

**I have a dream!**

Inderdaad het is niet 1963 en u bent hier niet op de National Mall in Washington, DC, maar in de historische Aula van het Academieggebouw van de Universiteit Utrecht in 2009. En, inderdaad, u bent hier wel op de goede plaats voor mijn oratie ter aanvaarding van de leerstoel 'Energie, Materialen en Milieu'.

Is het beeld dat ik eerder heb geschetst slechts een droom of een mogelijke werkelijkheid? Als u om zich heen kijkt klinkt het bovenstaande inderdaad als een utopische droom. Dat komt omdat wij allemaal geleerd hebben op een bepaalde manier tegen deze wereld aan te kijken. Een manier die sinds de industriële revolutie gevoed wordt door een overvloed of eigenlijk de perceptie van een overvloed aan energie en grondstoffen.

## OVERVLOED EN OBESITAS

De problemen van overvloed openbaren zich nu vrijwel dagelijks in ons leven. Obesitas is daar een voorbeeld van. Obesitas is een conditie van het lichaam waarbij de natuurlijke in vet opgeslagen energiereserve gebruikelijke niveaus ver overschrijdt, en waarbij de gezondheid schade lijdt. Niet een gebrek aan beweging, maar juist een overvloed aan voedsel is één van de belangrijkste oorzaken van deze maatschappelijke epidemie (Westerterp & Speakman, 2008).

Overvloed of de perceptie ervan heeft er ook toe geleid dat het Ogallala Aquifer onder de Great Plains in de Verenigde Staten na 60 jaar waterintensieve landbouw nu vrijwel leeg is, dat Mono Lake en de Salton Sea in Californië verzilt zijn. Deze perceptie heeft er toe geleid dat de Filippijnen binnen een periode van 50 jaar van houtexporteur een importeur is geworden, en dat Indonesië hard op weg is dit voorbeeld te volgen. De snelheid waarmee de mens in staat is om natuurlijke grondstoffen te gebruiken kan tot grote problemen leiden. Uitputting van grondstoffen als gevolg van de perceptie van overvloed hebben een grote rol gespeeld in de ondergang van eerdere beschavingen (Diamond, 2004).

In het energieveld zien we een vergelijkbare perceptie van overvloed. Nederland verbruikt sinds 1969 in snel tempo haar aardgasvoorraden, en zal naar verwachting deze in minder dan 100 jaar hebben geconsumeerd; aardgas dat gevormd is in een periode van tientallen miljoenen jaren. Het overvloedig gebruik van fossiele energiebronnen heeft geleid tot een ernstig niveau van “overgewicht” in de atmosfeer in de vorm van broeikasgassen. De aarde slaat overtollige energie niet op als vet, maar als warmte die wordt vastgehouden door broeikasgassen in de atmosfeer. Hierdoor lijdt de gezondheid van de aarde en mens schade.

De maatschappij zoals wij die vandaag de dag kennen is gebouwd op de overvloedige beschikbaarheid van goedkope energie. Dit heeft niet alleen tot grote bloei geleid maar ook tot vele excessen:

- We accepteren systemen die twintig maal meer afval (warmte) produceren dan het nuttig product (licht). Inclusief elektriciteitsproductie en distributie produceren we zelfs zestig maal meer afvalwarmte dan nuttig product. We doen dit door het gebruik van de gloeilamp.
- Wij hebben allemaal een apparaat thuis dat continu stroom gebruikt maar slechts een uurtje of twee per jaar of minder gebruikt wordt. Een verlies van 99.5%. Dit apparaat heet een deurbel.
- Voor een bak aardbeienyoghurt wordt bij elkaar meer dan 1000 km afgelegd (Böge, 2005) doordat verpakkingen en ingrediënten door heel Europa worden verslept. Om ham Parmaham te mogen noemen worden varkens uit Nederland naar Italië gereden om daar geslacht te worden en tot worst gemaakt te worden, om die vervolgens met een andere vrachtwagen bij u om de hoek in de supermarkt te verkopen. Deze vorm van globalisering is alleen mogelijk dankzij de overvloedige beschikbaarheid van goedkope energie.
- Een aantal van u zijn hier wellicht met de auto gekomen. U hebt files getrotseerd en zelfs het verkeer in de Utrechtse binnenstad om hier te zijn. Dat waardeer ik. U hebt echter ruim 1000 kg staal, aluminium, plastic, lood en andere materialen moeten transporteren om u eigen gewicht van 80 kg hier te krijgen.
- Om tot een aangename gevoelstemperatuur te komen verwarmen of koelen wij gehele ruimtes tot die temperatuur, ongeacht hoeveel mensen zich erin bevinden. In het oosten van de Verenigde Staten wordt er in de zomer zelfs gekoeld tot een temperatuur die lager ligt dan er verwarmd wordt in de winter. Daar heb je het hele jaar een trui nodig: in de winter buiten en in de zomer binnen.
- In de huidige elektriciteitsvoorziening wordt door een kolencentrale elektriciteit opgewekt met een rendement van 30-40%, transporteert men de elektriciteit over lange afstanden met een verlies van 4-10%, en wordt de stroom een aantal

maal getransformeerd met elke keer een paar procent verlies, om uiteindelijk bij u thuis aan te komen. Hier gebruikt u het in apparaten met een vaak lage efficiëntie om in uw behoeftes te voorzien.

- In alle sectoren vinden wij dezelfde overvloed, neem nu industrie, een sector waar ik veel onderzoek naar gedaan heb:
  - Papier maken we al 500 jaar op dezelfde wijze. We mengen 1-2 kg vezels met 98 kg water, en vervolgens gaan we het water er weer uithalen. Dit doen wij al jaren lang op deze wijze omdat water en energie goedkoop waren.
  - Een deel van de wereld cement productie wordt nog steeds gemaakt met het natte proces. Kalksteen wordt gemengd met water om vervolgens gemalen te worden. Dit gaat de klinkeroven in waar veel energie nodig is om het toegevoegde water weer te verwijderen.
  - Malen is nog steeds één van de processen waar grote energieverliezen ontstaan: slechts 5% van de energie wordt omgezet in het breken en malen van deeltjes, de rest wordt warmte door wrijving: een factor 20 aan afval.
  - Een van de meest gebruikte kunstmestsoorten in Nederland is ammoniumnitraat. Dit maken we door eerst stikstof uit de atmosfeer vast te leggen als ammoniak in een zeer energie-intensief proces. Vervolgens verbranden we weer de helft van de ammoniak om een nitraat molecuul te maken dat samen dan de gewenste kunstmest vormt. Dit is op zijn minst een inefficiënte omweg.
  - In de productie van staal wordt dit verschillende malen afgekoeld en verhit totdat het gesmolten is of roodgloeiend. Elke keer gaat energie verloren, en gebruiken we 3-4x zoveel energie dan er theoretisch voor nodig zou zijn (De Beer et al, 1998).
  - Elektromotoren vindt u overal in de industrie. Ze worden gebruikt om pompen, compressors en dergelijk aan te drijven. Terwijl de motor een efficiency heeft van 90% of meer, is efficiency van het systeem waarin deze functioneert niet meer dan 30%, en als we kijken naar de totale keten zelfs minder dan 10%, en tot 5% voor perslucht systemen.

- In de glastuinbouw stoken we in de winter de kassen flink op en in de zomer gaat alles open omdat er dan teveel warmte is....
- Het zelfde gebeurt in de wijze waarmee we met materialen omgaan. Voor hetzelfde product kan de hoeveelheid verpakkingsmateriaal wel een factor 2 verschillen en u ziet het verschil niet als u in de supermarkt staat met de twee flessen wasmiddel in uw hand.

In alle aspecten van onze maatschappij, van onze dagelijkse bezigheden, zitten grote inefficiënties van het energiegebruik ingebouwd. Als u deze allemaal optelt dan komen we tot een totale efficiency van onze maatschappij van nog geen 10 tot 20%.

Hoewel er niets mis zou hoeven te zijn met inefficiënt gebruik van grondstoffen, laten menselijke Obesitas en bovenstaande voorbeelden zien dat overvloed wel degelijk een probleem vormt. Desondanks beweren de aanhangers van het Cradle to Cradle gedachtegoed (McDonough en Braungart, 2002) dat men niet teveel kan consumeren indien de afvalstoffen geheel hergebruikt kunnen worden. Er wordt opgeroepen meer te consumeren, immers afval is voedsel en dit is goed. Zij hebben efficiëntie zelfs in diskrediet willen brengen. Energie en beschikbaarheid van grondstoffen zijn echter beperkende factoren die deze benadering onmogelijk maken. Winning, terugwinning, omzettingen en vorming en hergebruik gebruiken allen energie. Hoe sneller de stofwisseling van de mens en maatschappij hoe meer energie en grondstoffen nodig zijn, en juist daar raken we nu in problemen:

- Klimaatverandering is één van de grootste uitdagingen waarmee de mensheid nu wordt geconfronteerd. Eén van de belangrijkste broeikasgassen is kooldioxide (CO<sub>2</sub>), dat vrijkomt bij de oxidatie van fossiele energiebronnen, biomassa, en bij gebruik van kalksteen voor cement en andere toepassingen. Hiermee is elk aspect van onze maatschappij intrinsiek verbonden met klimaatverandering, dit

in tegenstelling tot andere mondiale milieuproblemen, zoals de aantasting van de ozonlaag. De gasen hebben een lange verblijftijd in de atmosfeer waardoor ze warmte vasthouden op aarde. In 1896 heeft Arrhenius al laten zien dat kooldioxide een broeikasgas is. De wiskunde is simpel: als de concentratie in de atmosfeer toeneemt door de verbranding van opgeslagen koolstof (in de vorm van fossiele energiebronnen) dan leidt dit tot een toename van de effecten van klimaatverandering. Klimaatverandering heeft het risico van desastreuze gevolgen voor de samenleving zoals we die vandaag kennen, met verandering van weer- en neerslagpatronen, zeespiegelstijging, een toenemende kans op “extreem weer.” Dit leidt weer tot negatieve gevolgen voor kuststroken (waar de meerderheid van de mensheid woont), waterbeschikbaarheid, landbouwopbrengsten, gezondheid en ecosystemen. Ondanks internationale pogingen om de stijging van de concentratie van broeikasgassen onder controle te krijgen is dit niet gelukt, en is in de afgelopen jaren de emissie van broeikasgassen juist sterk toegenomen (Solomon et al, 2009).

- Uit zogenaamde levenscyclusanalyses van allerlei producten blijkt bovendien dat luchtverontreinigende emissies sterk gecorreleerd zijn aan het energiegebruik in de keten (Huijbregts et al, 2006). Afgezien van toxiciteit, blijken vrijwel alle negatieve milieueffecten van ons consumptiepatroon gekoppeld te zijn aan energiegebruik. Hoewel we een aantal van deze milieueffecten hebben weten te reduceren door de behandeling van bijvoorbeeld rookgassen, is dit gepaard gegaan met een stijging van het energiegebruik (Graus & Worrell, 2007) van de elektriciteitscentrale of door grotere transportafstanden voor laagzwavelige kolen. De winning en distributie van (fossiele) energie lijdt tot allerlei ongewenste milieueffecten. De maatschappij is bereid om de laatste natuur op te offeren aan deze winning. Niet alleen de discussie rondom de Arctic National Wildlife Refuge (ANWR), maar ook de winning van teerzanden in Canada, en de race om de grondstoffen onder het smeltend ijs van de Noordpool laten zien dat wij

geen grenzen kennen om aan onze “honger” naar energie en grondstoffen te voldoen.

- Ontwikkeling van de ruwe olieprijsen over de afgelopen anderhalf jaar laten een bijzonder grillig verloop zien. In tegenstelling tot eerdere periodes met hoge olieprijsen is de dynamiek van de laatste prijsstijging anders: de vraag is groter dan het aanbod. En de vraag zal verder stijgen, als meer landen zich aansluiten bij de “vaart der volkeren”. Ondanks de zwaarste economische crisis sinds de jaren '30 is de olieprijs niet gezakt naar de prijzen van midden jaren '90, maar blijft deze hangen op een tweemaal zo hoog niveau. Door de stijging van de olieprijs ging ook de prijs van aardgas en kolen omhoog naar historische niveaus. Er wordt hard gezocht naar nieuwe reserves, maar deze hebben allen gemeen dat ze moeilijk toegankelijk en te winnen zijn. De vraag niet of er een piek zal optreden in de productie van olie maar wanneer (Deffeyes, 2005). Ook hier is de wiskunde simpel: als je iets sneller gebruikt dan het aangevuld wordt dan zal het eens op zijn.
- Afgezien van prijsontwikkelingen onder druk van krachten op de internationale energiemarkten, zijn een groot deel van de werkelijke kosten van energiegebruik niet verdisconteerd in de prijs die wij allemaal betalen. Een deel van de kosten als gevolg van energiegebruik worden door de maatschappij of derden betaald, zoals de kosten voor het tegengaan van milieudegradatie en gezondheidschade (zoals de toename in het aantal astmapatiënten) (Moore, 1997). Dit deel van de kosten worden de externe kosten genoemd. In financiële termen kan men ook zeggen dat de shareholders (aandeelhouders, energiegebruikers) betalen deze externe kosten niet, maar de stakeholders (belanghebbenden, maatschappij) betalen dit wel. Op deze wijze ontstaat een onzorgvuldige boekhouding, en wordt er geen werkelijke waarde gecreëerd, maar vindt een waardetransfer plaats van de stakeholders naar de shareholders. Met dit principe heeft de financiële sector de afgelopen jaren schijnwaarde gecreëerd. Deze handelwijze is met de kredietcrisis in diskrediet gebracht.



- Een economie die bouwt op de overvloedige beschikbaarheid van goedkope energie en grondstoffen is kwetsbaarder voor prijsverhogingen dan een economie die hiermee efficiënter omgaat. Juist dit fenomeen zagen we afgelopen zomer, waar de Verenigde Staten harder getroffen werden door de hoge olieprijsen dan Europa. Dit heeft uiteindelijk bijgedragen aan de mogelijke ondergang van de Big Three (General Motors, Ford en Chrysler) uit Detroit die hun marktpositie hadden gebouwd op een product dat uitgaat van overvloedige beschikbaarheid van goedkope olie: de sport utility vehicle (SUV). Ten tijde van deze overvloed was het aantal cupholders in de auto een belangrijker factor in de aankoopbeslissing dan de brandstofefficiency. Dichterbij huis hebben we deze winter (en de winter ervoor) gezien waar onze dorst naar aardgas toe kan leiden; afhankelijkheid van een staatsmonopolie dat aardgas inzet als politiek wapen, niet als handelswaar. Niet alleen kan dit leiden tot negatieve prijsontwikkelingen; zelfs tot verstoringen in de beschikbaarheid. Als maatschappij zijn wij bereid om grote bedragen uit te geven om deze leveringszekerheid te garanderen (ondermeer de Strategic Petroleum Reserve, en vergelijkbare voorraden in andere landen). Dit zijn energiekosten die wij als maatschappij indirect betalen.

Om in onze toenemende vraag naar goedkope energie te voorzien staan wij nu voor vele dilemma's. De keuze tussen mensenrechten en toegang tot grondstoffen is er één, en de ontwikkeling van biobrandstoffen is een ander recent voorbeeld. De ontwikkeling van een markt voor biobrandstoffen gaat gepaard met grote investeringen en leidt in eerste instantie tot weinig klimaatwinst, maar heeft wel bijgedragen aan stijgende voedselprijzen (Eide, 2008; Worldbank, 2008). De belofte van de zogenaamde tweede generatie biobrandstoffen moet (een deel van) deze problemen oplossen. Echter, we zijn er nog niet in geslaagd deze te commercialiseren. In hoeverre zullen gevestigde belangen van de eerste generatie biobrandstoffen akkoord gaan met hun "stranded assets" bij een overschakeling op de tweede generatie? We worden bijna dagelijks geconfronteerd met deze

dilemma's en deze zullen alleen nog toenemen naarmate de druk op grondstoffen en milieu toeneemt.

In het voorgaande heb ik u laten zien dat we op te grote voet leven, wat lijdt tot gezondheidsproblemen voor de aarde. Lage kosten van energie en materialen hebben geleid tot grote inefficiënties. Om in de termen van de huidige financiële depressie te spreken; eigenlijk hebben we met de aarde de afgelopen 200 jaar niets anders bedreven dan een piramidespel. De laatste deelnemers betalen voor diegene die hen voorgingen. In vele opzichten hebben vorige generaties weinig van waarde nagelaten aan toekomstige generaties, waardoor toekomstige generaties het gelag zullen betalen voor onze huidige levensstandaard in de vorm van milieukwaliteit en de grondstofreserves die wij nalaten. De "groei" was gebaseerd op verkeerde indicatoren die geen rekening houden met het verlies aan milieukwaliteit<sup>1</sup> en gericht op de korte termijn. Dit was inderdaad ook het recept voor de huidige financiële crisis.

---

1 Voor een discussie over "vergroening" van economische indicatoren, zie onder meer Nordhaus en Kokkelenberg, 1999; Liu en Diamond, 2008.

## DE MAATSCHAPPELIJKE STATUS QUO

We staan nu niet alleen aan de vooravond, maar zitten we al in de vroege ochtend van grote veranderingen. Om deze problemen het hoofd te bieden dienen we niets minder dan een nieuwe industriële revolutie in te zetten. Waar de industriële revolutie van de 19<sup>e</sup> en 20<sup>e</sup> eeuw uitging van onbeperkte grondstoffen en beperkte hoeveelheid arbeid, zal de nieuwe revolutie juist uitgaan van een beperking in de hoeveelheid economisch beschikbare grondstoffen. Een duurzame wereld betekent dat we een wereld nalaten met meer grondstoffen of meer mogelijkheden om deze efficiënt te benutten of duurzaam te winnen zonder een negatieve aanslag op milieu en natuur (Graedel en Van der Voet, 2009).

Het is daarom onduidelijk waarom onze maatschappij technologie accepteert die 10-20 keer zo veel afval produceren dan nuttig product. Eerdergenoemde voorbeelden hebben allen gemeen dat we een technologie gebruiken om een probleem op te lossen dat is gebaseerd op soms eeuwenoude wijze, en de meeste gebruiken hierbij massale hoeveelheden energie en materialen. Nieuwe ontwikkelingen bouwen hierop voort, waardoor het gevaar bestaat van een zogenaamde technologische, en daarnaast een mentale lock-in. Hierdoor blijven we “knutselen”, zonder onszelf de goede vragen te stellen. En vragen stellen is de basis van de wetenschap.

Een groot aantal barrières draagt bij aan de handhaving van de status quo (IPCC, 2001; IPCC, 2007). Kwantificering van de barrières is moeilijk. Een succesvol onderzoek (IEA, 2007), waaraan ik heb bijgedragen, demonstreert dat een groot deel van ons energiegebruik wordt beïnvloedt door de zogenaamde huurder/verhuurder barrière. Dit houdt in dat de verantwoordelijkheid voor het energiegebruik en het betalen van de rekening is gescheiden; denk hierbij aan een huurwoning of kantoor waarvan de eigenaar bepaalt of en in hoeverre deze geïsoleerd is, terwijl de huurder de energierekening betaalt. Hiervan zijn legio voorbeelden, bijvoorbeeld

stand-by gebruik van elektrische apparaten, kantoorruimte, verkoopautomaten, en lease auto's (Graus & Worrell, 2008). Het blijkt dat in sommige landen en sectoren tot wel 30% van het energiegebruik door deze barrière wordt beïnvloedt.

Om mensen toegang te geven tot energie (met een lage efficiëntie) wordt de energiesector vaak gesubsidieerd. Dit is niet alleen het geval in ontwikkelingslanden maar even goed in geïndustrialiseerde landen (UNEP/IEA, 2002). Volwassen industriële sectoren zoals de fossiele- en nucleaire industrie ontvangen de helft van het publieke energieonderzoeksbudget in OECD landen, terwijl multilaterale organisaties expansie van conventionele energieprojecten in ontwikkelingslanden financieel ruim ondersteunen.

De introductie van energiemarkten heeft ten onrechte geleid tot een terugtrekking van de overheid in het vaststellen van regelgeving in deze sector. Deregulering heeft ertoe geleid dat vele energiebesparingprogramma's beëindigd zijn door energiebedrijven, ondanks het bewezen succes van benaderingen als Demand Side Management (DSM) en Integrated Resource Planning (IRP). Een "vrije markt" bestaat niet, noch voor energie, noch voor enig ander product. De overheid heeft de taak gekregen om het belang van de samenleving te wegen tegen het belang van het individu. Dit leidt er toe dat deregulering juist de noodzaak vergroot om markten te reguleren, en tot meer regelgeving leidt om de voorwaarden te scheppen die de maatschappij wenselijk acht. Een overheid die zich beroept op "marktwerking" om ontwikkelingen niet bij te sturen in het belang van de maatschappij laat haar verantwoordelijkheid vallen.

Nederland is helaas een "prachtig" voorbeeld van de status quo. Hoewel Nederland op papier inzet op een duurzame samenleving, zien we in de praktijk dat Nederland de transitie naar een duurzaam energiesysteem niet realiseert. Nederland heeft voor 2020 ambitieuze doelstellingen vastgelegd om tot een reductie van

broeikasgasemissies te komen van 30% ten opzichte van 1990. Echter, de 2020 doelstellingen voor industrie en de elektriciteitssector worden niet gehaald door in te zetten op een daadwerkelijke transitie in Nederland, maar grotendeels door aankoop van emissierechten. Hiermee zet Nederland niet in op een transitie maar stelt deze uit. Met andere woorden, onze energetische obesitas wordt in stand gehouden, maar we laten de buurman afvallen, zodat het gemiddelde er beter uit ziet. Indien we recente signalen serieus nemen (en de regering zegt dit te doen) dan is uitstel een doodlopende weg. Uit vele studies blijkt dat de zogenaamde “first movers” economisch voordeel kunnen behalen (Lieberman & Montgomery, 1987; Porter & Van der Linde, 1995), maar door deze strategie van uitstel is de kans groot dat de Nederlandse economie de boot mist, ondanks alle mooie woorden. Helaas bevestigen vele andere signalen de bovenstaande ontwikkeling:

- De aankondiging van de bouw van vijf kolengestookte centrales leidde tot een tijdelijke stop op aansluiting van energie-efficiënte warmtekracht eenheden en duurzame energieprojecten op het elektriciteitsnet.
- In het energietransitieproces besteedt slechts één van de platforms expliciet aandacht aan energie efficiëntie, terwijl veel van de andere platforms zijn georganiseerd aan de hand van (traditionele) energiedragers.
- In de implementatie van duurzame energie loopt Nederland nu al achter op de doelstellingen die binnen de Europese Unie zijn afgesproken. Recente initiatieven binnen het Europees Parlement maken dat Nederland dit echt serieus dient aan te pakken wil het de 2010 en 2020 doelstellingen halen.
- Terwijl andere landen voortvarend (Zuid Korea spant hierbij de kroon) inzetten op verduurzaming van de samenleving binnen de stimuleringspakketten voor de economie is dit in Nederland een marginaal aandeel van het budget.

Nederland (hoewel slechts een postzegel op het oppervlak van de aarde) neemt de uitdagingen waar we als wereld voor staan helaas onvoldoende serieus en laat daarbij kansen liggen. Als samenleving dienen we te zoeken naar nieuwe wegen

om onze verslaving aan goedkope energie te verminderen en uiteindelijk af te bouwen. Omdat energie zo fundamenteel is voor de wijze waarop we onze economie hebben ingericht en in de invloed die deze heeft op het milieu en gezondheid van ons allemaal is niets minder dan een nieuwe industriële revolutie noodzakelijk.

## EEN ENERGIE EFFICIËNTE REVOLUTIE

Een duurzame energie- en grondstoffenvoorziening is alleen mogelijk als gebruik wordt beperkt door verhoging van de efficiëntie waarmee we in de energiediensten voorzien. Hierbij dienen we niet alleen te kijken naar de efficiëntie van de individuele apparaten maar juist ook naar de efficiëntie van het gehele systeem. Dit wordt bevestigd door vele studies van ons en anderen (IEA, 2006; Expert Group on Energy Efficiency, 2007).

Er is een groot potentieel voor energie- en materiaalefficiëntieverbetering. Met bestaande technologie is al veel te doen. Opeenvolgende studies sinds de jaren '80 laten consequent zien dat er steeds een economisch potentieel van 20-30% energiebesparing is, met andere woorden, terwijl een deel van het potentieel wordt gerealiseerd, groeit het potentieel weer verder doordat nieuwe technologie wordt ontwikkeld en commercieel beschikbaar komt, terwijl bestaande technologie verder verbeterd wordt. Nieuwe technologie wordt continu ontwikkeld, en onderzoek laat zien dat er nog grote potentiëlen bestaan (De Beer, 1998; Worrell et al, 2002; Neelis, 2008), hoewel ontwikkeling en commercialisering niet altijd even gemakkelijk gaat (Luiten, 2001).

Op het gebied van materiaalefficiëntie zijn minder studies beschikbaar. Studies van onze groep aan de Universiteit van Utrecht (Worrell, 1994; Patel, 1999; Hekkert, 2000; Joosten, 2001) laten zien dat er een groot potentieel bestaat. Studies die energie-en materiaalefficiëntie integreren laten zien dat de combinatie hiervan tot de meest economische strategie leidt om substantiële broeikasgas emissiereducties te realiseren.

Deze uitdagingen bieden ook kansen. In een wereld die naar een duurzamere wijze van produceren en consumeren ontwikkeld is er een grote markt voor de

duurzame producten en technologie. De opbouw van de Deense windturbine-industrie en de Duitse zonne-energie-industrie zijn voorbeelden van leiderschap waarin deze landen wereldleider in deze technologie zijn geworden. De overgang naar een duurzame energievoorziening is slechts betaalbaar indien we energie en grondstoffen op een zo efficiënt mogelijke wijze inzetten.

Om de revolutie en droom te realiseren staan we als maatschappij voor een aantal uitdagingen. De huidige situatie waarin een financiële, economische, energie, milieu en voedsel crisis zich tegelijkertijd aandienen geeft aan dat een fundamentele heroriëntatie noodzakelijk is. Mijns inziens dient deze heroriëntatie te bouwen op een aantal uitgangspunten:

- 1 Om naar een duurzame samenleving te komen moeten we een andere visie op energie en grondstoffengebruik ontwikkelen, waar de geleverde diensten centraal staan, en niet de levering van energie. We dienen uit te gaan van de functie/dienst die geleverd wordt: de zogenaamde energiedienst. Als samenleving zijn wij eigenlijk niet geïnteresseerd in kolencentrales, maar in licht, warmte en voedsel. Echter ons energiesysteem is net andersom georganiseerd; inefficiënt gebruik van energie en grondstoffen wordt geaccepteerd omdat in onze huidige systeem op deze wijze winst wordt gegenereerd. Een toenemende vraag naar energiediensten dient beantwoordt te worden door het specifiek energiegebruik voor een energiedienst te verminderen, en niet door vast te houden aan het bestaande paradigma door maar meer energie te leveren. Ervaring laat zien dat we dit kunnen.
- 2 Sterke reducties van broeikasgasemissies zijn noodzakelijk om irreversibele of catastrofale effecten van klimaatverandering tegen te gaan of te reduceren. In 2007 concludeerde de Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) dat sterke reducties noodzakelijk zijn. Dit betekent een emissiereductie van 50 tot 80% ten opzichte van 2000. Dergelijke reducties zijn niet mogelijk binnen het bestaande paradigma. Alle conventionele productiewijzen staan ter discussie.



**3** We dienen te komen tot een integratie van de uitdagingen rondom energie, materialen, grondstoffen en milieu in eenduidig beleid. Zelfs in de huidige omstandigheden ontbreekt het aan een gevoel van urgentie. In plaats van de kansen aan te grijpen wordt gekozen voor het defensief door het uitstellen of afkopen van de transitie. De nieuwe industriële revolutie veronderstelt een geïntegreerde visie op shareholders en stakeholders. Dit geldt ook voor het overheidsbeleid, waarbij de shareholders de burgers in een samenleving zijn, en de stakeholders de wereld, het milieu en toekomstige generaties. Met de oproep om versneld bouwprojecten mogelijk te maken en hierbij afspraken die er mede voor moeten zorgen om milieu en gezondheid te beschermen op terzijde te schuiven, wordt de eenzijdige blik op shareholders in stand gehouden.

Om effectief beleid vorm te geven is gereedschap noodzakelijk, en hier is een belangrijke taak weggelegd voor de wetenschap. De wetenschap en universiteit hebben een belangrijke rol en verantwoordelijkheid in de transitie naar een duurzame samenleving. Zij onderzoekt de mogelijkheden om nieuwe wegen in te slaan en deze mogelijk te maken door de ontwikkeling van gereedschap en technologie.

Met deze leerstoel wil ik een bijdrage leveren om een stukje van deze droom mogelijk te maken. Deze leerstoel wil ik aanwenden om samen met partners in de samenleving te werken aan de bovengenoemde dilemma's en vraagstukken. Ik wil me hierbij richten op een vijftal aspecten:

**1** Meten is weten. Om tot een beter begrip te komen van grondstofgebruik en patronen is het noodzakelijk om de juiste indicatoren te ontwikkelen. Zonder indicatoren weten we niet hoeveel energie we tot ons nemen, of hoe we dit gebruiken. Zoals we een gebalanceerd dieet kunnen samenstellen aan de hand van de voedselpiramide (of tegenwoordig de schijf van vijf) zo hebben we een indicatorpiramide ontwikkeld om tot de juiste indicatoren te komen

voor de gestelde vraag. Dit werk hebben we bij ons instituut voortgezet in de proefschriften van Maarten Neelis en Andrea Ramirez die respectievelijk naar de complexe chemische industrie en de lichte industrie onderzoek hebben gedaan. Samen met Wina Graus (een collega bij Ecofys) ontwikkelen we een beter inzicht in de efficiëntie van elektriciteitsopwekking en de implicaties hiervan voor klimaatbeleid. Sinds de eerste energiecrisis is er veel werk verricht op het gebied van analysemethodes om energiegebruik te kunnen evalueren. Hiermee was ook de basis gelegd voor de tegenwoordig veel besproken levenscyclus analyses, waarin de producten op de impact op milieu worden beoordeeld. In het cluster Energy & Materiaal Efficiëntie zijn we bezig deze methodes uit te breiden tot toepassingen om nieuwe materiaalontwikkelingen (ex-ante) te kunnen beoordelen. Zo werkt Shen Li aan evaluatie van ontwikkelingen op het gebied van bio-kunststoffen, en Lex Roes aan nanomaterialen. Deze laatste categorie materialen geniet een brede belangstelling in de wetenschap, maar we kunnen de milieu- en gezondheidsaspecten van deze ontwikkelingen nog niet goed over zien. Hiervoor is een goed instrumentarium noodzakelijk.

- 2 Modellen spelen een belangrijke rol in de klimaatdiscussie. Ondanks het belang van deze modellen kan men de huidige ontwikkelingsfase vergelijken met die van de medische wetenschap in de 19<sup>e</sup> eeuw. Deze vergelijking komt overigens van een energie-econoom en collega uit Berkeley. De huidige modellen gaan vaak uit van een balans in de economie en gaan uit van perfecte markten en optimaliserend gedrag van alle deelnemers. Onderzoek over de afgelopen jaren heeft laten zien dat veel van deze aannames (o.a. DeCanio, 2003) niet kloppen. En als je, zoals deze modellen, alleen een hamer hebt, dan worden veel wetenschappelijke vragen gereduceerd tot spijkers. Vele interessante recente ontwikkelingen in de economische wetenschappen worden onvoldoende geïntegreerd in de huidige modellen. Een paar jaar geleden heb ik met collega onderzoekers een aanzet voor verbetering van de modellen gepubliceerd (Worrell et al, 2004).

Het is van belang om tot geïntegreerde modellen te komen voor energie- en materiaal efficiëntie. In de huidige modellen wordt een referentiescenario aangenomen voor de ontwikkeling van de economie. Vervolgens worden hier een aantal emissiereductiemaatregelen op los gelaten om het potentieel en de kosten ervan uit te rekenen. Bij de noodzakelijke grote reducties is het echter de vraag of dit referentiescenario nog geldig is. Integratie van energie- en materiaalstromen in één model is een stap om plausibele scenario's te ontwikkelen in een wereld die strikte grenzen oplegt aan de emissie van broeikasgasemissies. De eerste modellen die beiden integreren laten zien dat dit tot grotere potentiële reducties kan leiden bij lagere kosten voor de samenleving. Dergelijke modellen worden echter beperkt gebruikt in de klimaatdiscussie, waardoor ook de aandacht voor materiaalefficiëntie in klimaatbeleid onderbelicht is. Met het werk van onze groep wil ik verder bijdragen aan deze ontwikkelingen.

- 3 Vanuit deze modellen en andere studies kunnen we de mogelijkheden en potentiële onderzoeken om te komen tot herschikking van productieketens en optimalisatie van grondstoffengebruik. Enerzijds betekent dit dat we studies doen naar de bijdrage die individuele sectoren kunnen leveren, en anderzijds betekent dit dat er eenvoudige instrumenten ontwikkeld moeten worden die alle opties kunnen integreren om tot optimalisatie te komen. De Nederlandse papierindustrie is met een interessante uitdaging aan de slag gegaan. Zij wil in 2020 een halvering van de energie-intensiteit bereiken. Ongeveer de helft hiervan zal gerealiseerd worden in de productie van het papier, maar de andere helft wordt gezocht in de verandering en optimalisatie van de keten. Ik heb in de afgelopen jaren met de papierindustrie samengewerkt aan elementen van dit interessante vraagstuk. Jobien Laurijsen van het Kenniscentrum Papier en Karton werkt aan een aantal van deze vraagstukken in samenwerking met ons instituut.

Onze studies laten zien dat bestaande efficiënte technologie nog een grote bijdrage kan leveren aan de reductie van broeikasgasemissies en andere negatieve impacts van ons energie- en materiaalgebruik. Om tot de grote emissiereducties te komen die op termijn noodzakelijk zijn is het ook noodzakelijk om te kijken naar technologieontwikkeling en innovatie op lange termijn. Wij ontwikkelen het instrumentarium om de milieu-impact van deze ontwikkelingen te evalueren, maar kijken ook naar de technologieontwikkeling zelf en de modellering hiervan. Uit eerder werk is ook gebleken dat energietechnologie vaak niet goed gemodelleerd wordt omdat alleen gekeken wordt naar energie, en niet naar de andere aspecten van een technologie (Worrell et al, 2003). Dit geeft het belang aan van een geïntegreerde visie op technologieontwikkeling en integratie hiervan in analyse methoden en modellen. Bij de ontwikkeling van een beter begrip voor technologieontwikkeling zie ik kansen om tot verregaande samenwerking te komen binnen het Copernicus Instituut en daar buiten. Samen met de Duitse promovendus Tobias Fleiter zal ik bijdragen aan een meer dynamische modellering van technologie in energiemodellen.

- 4 Effectief beleid is aangepast aan de omstandigheden van de doelgroep, en omvat efficiëntie standaarden, verwijdering van regelgeving die tot barrières leidt, tarief structuren voor energiegebruik, en vele andere instrumenten. Een juist prijssignaal is onvoldoende om tot de noodzakelijke duurzame ontwikkeling te komen. Zoals eerder besproken bestaan er veel barrières en faalt de markt door bestaande regelgeving en indirecte subsidiestromen. De overheid heeft hier een taak om met actief beleid de juiste randvoorwaarden scheppen voor de gewenste ontwikkeling. In een recent rapport van de UN Foundation (Expert Group on Energy Efficiency, 2007) hebben we een reeks aanbevelingen gedaan om tot een verdubbeling van het tempo van energie efficiëntie verbetering te komen. Dit is een ambitieuze maar haalbare doelstelling, waar een divers instrumentarium aan beleidsmaatregelen voor nodig is.

Om effectief beleid te ontwikkelen is het noodzakelijk om de rol van deze barrières beter te begrijpen. Hier voor zijn een aantal studies nodig. We dienen een beter begrip te krijgen voor de realisatie van bereikte efficiëntieverbeteringen (zie ondermeer Worrell en Biermans, 2005), om voorveronderstellingen van beleidsmakers te toetsen, en effectiever beleid te ontwikkelen. Ten tweede, kan onderzoek naar de impact van barrières helpen om de effectiviteit van een beleidsinstrument te evalueren. Betere bestudering van deze fenomenen is nodig om tot effectiever beleid te komen, en verdient dan ook een plek in het werk van ons instituut.

- 5 Evaluatie van energiebeleid vindt helaas onvoldoende plaats, op het gebied van materialen is dit nog dunner gespreid. Toch is het noodzakelijk om de effectiviteit en efficiëntie van beleid beter te begrijpen om op een goede wijze tot een duurzame samenleving te komen. In het verleden hebben we bijgedragen aan dit belangrijke veld door de ontwikkeling van de juiste indicatoren voor dergelijke evaluaties en evaluatiemethodes. Dit hebben we ook verankerd in het onderwijs door binnen een aantal cursussen hier aandacht aan te besteden. Materialenbeleid is tot nu toe vaak gedreven door de wens om afval te reduceren. Dit heeft geleid tot beleid waar door niet altijd de efficiëntie van en het materiaalgebruik zelf worden verbeterd. In eerste studies kijken we naar het beleid rondom verpakkingen in Nederland en de invloed van duurzaam bouwen op materiaalkeuze en gebruik. Het verpakkingsbeleid in Nederland is een interessante studie. Continue verschuivingen in het beleid hebben steeds tot andere indicatoren geleid om het succes te vast te stellen, maar in de tussentijd is het beleid zelf minder effectief geworden en lijkt er van een rem op verpakkingen geen sprake meer te zijn.

Het werk op de universiteit biedt me een bijzondere mogelijkheid om theorie met de praktijk te combineren. Niet alleen vind ik een empirische basis van onderzoek noodzakelijk, maar bovendien vind ik de verspreiding en toepassing

van de gegenereerde kennis van belang. Publicatie van onderzoeksresultaten is van groot belang, en zie hier ook een belangrijke rol voor in het onderwijs. Niet alleen voor studenten die een wetenschappelijke carrière ambiëren is communicatie van onderzoeksresultaten belangrijk, het zou een essentieel onderdeel moeten zijn van de opleiding van elke Master student. Ook als hoofdredacteur van het wetenschappelijk tijdschrift *Resources Conservation & Recycling* draag ik aan de kennisverspreiding bij.

Naast de universiteit werk ik als Directeur Energiegebruik en Efficiëntie bij Ecofys. Ecofys is één van de grootste internationale consultants op het gebied van duurzame energie. Ecofys is ook uniek dat het nu twee hoogleraren onder haar personeel mag tellen. Maar Ecofys biedt mij ook de mogelijkheid om met (industriële) stakeholders te werken. Dit helpt niet alleen om een beter begrip te ontwikkelen van de omstandigheden waarin de resultaten van het eerdergenoemde onderzoek wordt geïmplementeerd, maar het helpt ook in de verzameling van informatie om de empirische basis aan het onderzoek te geven.

Ten slotte vind ik internationale samenwerking belangrijk. Mijn internationale carrière met werkervaring in Princeton en Berkeley heeft mij niet alleen blootgesteld aan de positieve kanten van een dergelijke samenwerking, maar ook aan het belang van deze kruisbestuiving om tot beter onderzoek en betere oplossingen te komen.

Ik hoop dat ik u met het voorgaande niet alleen een beeld heb gegeven van de uitdagingen en kansen waar we nu voor staan, maar ook hoe ik deze leerstoel wil vormgeven. Wij staan voor een uitdaging om energie en materialengebruik op een fundamenteel andere wijze te organiseren. Dit is een uitdaging waarin we moeten slagen indien we de patiënt willen laten afvallen en overleven. Ik hoop dat ik u heb laten zien dat er ook vele kansen zijn om de geschetste droom te realiseren.

Dat ik nu hier voor u sta is over de afgelopen jaren door vele mensen mogelijk gemaakt. Ik zou u allen persoonlijk willen bedanken, maar moet toegeven dat dit gedoemd is te mislukken.

Naast iedere man of vrouw staat een partner die het mogelijk maakt je te ontwikkelen. Voor mij is dat Antoinette die dit mogelijk heeft gemaakt. We hebben samen in de Verenigde Staten een leven opgebouwd om daar kansen voor mijn carrière te verwezenlijken, en we zijn samen naar terug naar Nederland gekomen. Hier zijn we aan een nieuw hoofdstuk begonnen dat zonder de steun van jou niet mogelijk was geweest: een kind, familie en een carrière. Dit is niet altijd even makkelijk geweest. Ik wil je bedanken voor alle steun en doorzettingsvermogen over de afgelopen jaren. Je bent geweldig. De volgende generatie, Ruben, groeit nu op in een wereld die ik duurzamer wil achterlaten dan dat hij hem helaas aantrof bij zijn geboorte. Ons werk zal zijn wereld, en die van zijn vele leeftijdgenoten, beïnvloeden en dat geeft ons allemaal een grote verantwoordelijkheid.

Mijn ouders hebben de basis gelegd voor mijn nieuwsgierigheid en ontwikkeling. Dankzij jullie niet aflatende steun tot op de dag van vandaag heb ik veel geleerd en doe dat iedere dag nog.

Al sinds 1989 heb ik met een aantal zeer inspirerende collega's van Natuurwetenschap & Samenleving samengewerkt. We hebben elk een eigen weg gevolgd, en ik kijk uit naar onze samenwerking in mijn nieuwe positie. Kornelis en Wim, het is prettig om weer op een plek samen te kunnen werken aan een groep die vorig jaar haar 25-jarig bestaan kon vieren. Ik kijk uit naar de voorzetting van de samenwerking met meer en minder nieuwe collega's en studenten zoals Martin en André en de vele anderen binnen het Copernicus Instituut. Alle medewerkers, promovendi en

studenten waar ik het afgelopen al mee heb mogen werken wil ik bedanken voor hun inzet. Zonder jullie is de bovengenoemde agenda niet te realiseren.

Mijn collega's bij Ecofys en Econcert wil ik bedanken dat het niet alleen mogelijk om deze leerstoel aan te nemen, maar ook voor de geweldige teamgeest. Jullie geven mij de hoop dat we de klus kunnen voltooien. Yes, we can!

Ten slotte, kijk ik uit naar de samenwerking met collega's van universiteiten in binnenland en buitenland. Ik verheug me er op om gezamenlijk aan de vele wetenschappelijke vragen te werken.

Hartelijk dank voor uw aandacht.

**Ik heb gezegd**



## Referenties

- Arrhenius, S. 1896. On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground, London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science (fifth series) 41: 237–275.
- Böge, S. 1995. The Well-Travelled Yogurt Pot: Lessons for new Freight Transport Policies and Regional Production. *World Transport Policy & Practice* 1: 7–11.
- De Beer, J., E. Worrell, and K. Blok. 1998. Future Technologies for Energy Efficient Iron and Steelmaking. *Annual Review of Energy and the Environment* 23: 123–205.
- De Beer, J.G. 1998. Potential for Industrial Energy-Efficiency Improvement in the Long Term. Ph.D. Thesis, Utrecht University, Utrecht, The Netherlands.
- DeCanio, S.J. 2003. Economic Models of Climate Change: A Critique. Palgrave MacMillan, New York, NY.
- Deffeyes, K.S. 2005. Beyond Oil: The View from Hubbert's Peak. Farrar, Straus and Giroux, New York, NY. 2005.
- Diamond, J. 2004. Collapse: How Societies Choose to Fail or Succeed. Viking Publishers.
- Eide, A. 2008. The Right to Food and the Impact of Liquid Biofuels (Agrofuels). Food & Agricultural Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy.
- Expert Group on Energy Efficiency. 2007. Realizing the Potential of Energy Efficiency: Targets, Policies, and Measures for G8 Countries. United Nations Foundation, Washington, DC.
- Graedel, T. and E. van der Voet (eds.). 2009. Measuring Sustainability. Strüngmann Forum Report, Vol. 4. Cambridge, MA: MIT Press.
- Graus, W.H.J. and E. Worrell. 2007. Effects of SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> control on energy-efficiency power generation. *Energy Policy* 35: 3898–3908.
- Graus, W. and E. Worrell. 2008. “The Principal Agent Problem and Transport Energy Use: Case Study of Company Lease Cars in the Netherlands.” *Energy Policy* 36 pp.3745–3753.
- Hekkert, M.P. 2000. Improving Material Management to Reduce Greenhouse Gas Emissions. Ph.D. Thesis, Utrecht University, Utrecht, The Netherlands.
- Huijbregts MAJ, Rombouts LJA, Hellweg S, Frischknecht R, Hendriks AJ, Van de Meent D, Ragas AMJ, Reijnders L, Struijs J. 2006. Is Cumulative Fossil Energy Demand a Useful Indicator for the Environmental Performance of Products? *Environmental Science and Technology* 40: 641–648.
- International Energy Agency. 2006. *Energy Technology Perspectives 2006: Scenarios and strategies to 2050*. International Energy Agency, Paris, 484 pp.
- International Energy Agency. 2007. Mind the Gap: Quantifying Principal-Agent Problems in Energy-Efficiency. IEA, Paris, France.
- IPCC. 2001. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- IPCC. 2007. Climate Change 2007: Working Group III Report “Mitigation of Climate Change”. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

- Joosten, L.A.J. 2000. The Industrial Metabolism of Plastics. Ph.D.Thesis, Utrecht University, Utrecht, The Netherlands.
- Lieberman, M.B. and D.B. Montgomery. 1987. First Mover Advantages. Stanford University, Stanford, CA, USA.
- Liu, J. and J. Diamond. 2008. Revolutionizing China's Environmental Protection. *Science* 319: 37-38.
- Luiten, E.E.M. 2001. Beyond Energy Efficiency. Ph.D. Thesis, Utrecht University, Utrecht, The Netherlands.
- McDonough, W. and M. Braungart. 2002. Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things. North Point Press.
- Moore, C.A.. 1997. Dying Needlessly: Sickness and Death due to Energy-related Air Pollution. Renewable Energy Policy Project (REPP), Washington, DC. [http://www.repp.org/repp\\_pubs/articles/issuebr6.html](http://www.repp.org/repp_pubs/articles/issuebr6.html)
- Neelis, M.L. 2008. Monitoring Industrial Energy and Carbon Flows. Ph.D.Thesis, Utrecht University, Utrecht, The Netherlands.
- Nordhaus, W.D. and E.C. Kockelenberg (Eds.). 1999. Nature's Numbers: Expanding the National Economic Accounts to Include the Environment. National Academics Press, Washington, DC.
- Patel. M.K. 1999. Closing Carbon Cycles. Ph.D. Thesis, Utrecht University, Utrecht, The Netherlands.
- Porter, M. E., and C. van der Linde. 1995. "Green and Competitive: Ending the Stalemate." *Harvard Business Review* 73 (September-October 1995).
- Schwartz, B. 2004. *The Paradox of Choice: Why More is Less*. HarperCollins Publishers, 265 pages.
- Solomon S., G. K. Plattner, R. Knutti, and P. Friedlingstein. 2009. Irreversible Climate Change due to Carbon Dioxide Emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106: 1704-1709.
- UNEP and IEA. 2002. Reforming Energy Subsidies. UNEP/IEA, Paris, France.
- Westerterp, K.R. and J.R. Speakman. 2008. Physical Activity Energy Expenditure has not Declined since the 1980s and Matches Energy Expenditures of Wild Mammals. *International Journal of Obesity* 32: 1256-1263.
- World Bank. 2008. World Development Report 2008. The World Bank, Washington, DC.
- Worrell, E. 1994. Potentials for Improved Use of Industrial Energy and Materials. Ph.D. Thesis, Utrecht University, Utrecht, The Netherlands.
- Worrell, E., N. Martin, L. Price, M. Ruth, N. Elliott, A. Shipley, and J. Thorne. 2002. Emerging energy efficient technologies for industry. *Energy Engineering Journal* 99: 36-55.
- Worrell, E., J.A. Laitner, M. Ruth and H. Finman. 2003. Productivity Benefits of Industrial Energy Efficiency Measures. *Energy, the International Journal* 11 28 pp.1081-1098.
- Worrell, E., S. Ramesohl and G. Boyd. 2004. "Advances in Energy Forecasting Models based on Engineering-Economics." *Annual Review of Energy and Resources* 29 pp. 345-381.
- Worrell, E. and G. Biermans. 2005. "Move Over! Stock Turnover, Retrofit and Industrial Energy Efficiency." *Energy Policy* 7 33 pp.949-962.



Prof. Dr. Ernst Worrell is hoogleraar 'Energie, Materialen & Milieu' aan de Universiteit Utrecht en Directeur Energie Gebruik & Efficiency bij Ecofys. Hij heeft twintig jaar ervaring in energie onderzoek. Zijn werkveld omvat industriële energiebesparing, energiebeleid, energie en materialen, en afvalverwerking.

Ernst Worrell is gepromoveerd aan de Universiteit Utrecht in 1994. Zijn internationale carrière heeft hem weer teruggebracht in Utrecht. Tot 2004 heeft hij het industriële energie analyse werkveld bij Lawrence Berkeley National Laboratory (Verenigde Staten) geleid. Tot 1998 heeft hij mede leiding gegeven aan het energie efficiency onderzoek bij de Vakgroep Natuurwetenschap & Samenleving van de Universiteit Utrecht. Hij was gastonderzoeker bij het Center for Energy and Environmental Studies van Princeton University (Verenigde Staten) en een gast professor bij de Universiteit van Sao Paulo (Brazilië). Hij was een (Coordinating) Lead Author van verschillende rapporten van de Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) dat in 2007 de Nobelprijs voor de Vrede ontving. Ernst Worrell is auteur van meer dan 250 publicaties. Ernst Worrell is hoofdredacteur van het internationaal wetenschappelijk tijdschrift Resources, Conservation & Recycling en redacteur van de tijdschriften Energy en Waste Management, en de Encyclopedia of Energy. Hij is lid van het Roster of Experts of the Scientific and Technical Advisory Panel (STAP) van de Global Environmental Facility (WereldBank en Verenigde Naties), en lid van het Roster of Experts van het African Energy Policy Research Network (AFREPREN).

In zijn oratie gaat hij in op het belang van energie en materiaalefficiëntie om tot een duurzame energie-infrastructuur te komen. Een efficiënt gebruik van grondstoffen is een vereiste voor een duurzame samenleving, en verdient een prominente plaats in onderzoek en beleid. In de oratie zet hij onderzoeklijnen uit om tot een beter begrip te komen van de rol van energie en materiaalefficiëntie binnen een duurzame samenleving.