

Duurzame ontwikkeling en economische groei

- een voorstudie -

Rapport

Delft, oktober 1993

Opgesteld door: A.N. Bleijenberg
G. de Wit

Dit onderzoek is uitgevoerd in
opdracht van DG Milieubeheer

Inhoud

Samenvatting

| | | |
|-----------|---|----|
| 1 | Inleiding | 1 |
| | 1.1 Achtergrond, opdracht en doel | 1 |
| | 1.2 Uitgangspunten en werkwijze | 1 |
| 2 | Denkmodel: milieu als produktiefactor | 3 |
| | 2.1 Inleiding | 3 |
| | 2.2 Het milieu als produktiefactor | 3 |
| | 2.3 Produktiefunctie | 5 |
| | 2.4 Extra veronderstellingen | 7 |
| | 2.5 Evaluatie | 8 |
| 3 | Rekenmodel: de invoergegevens | 11 |
| | 3.1 Inleiding | 11 |
| | 3.2 Bevolking en arbeidsvolume | 11 |
| | 3.3 Milieudruk en energiegebruik | 12 |
| | 3.4 Bruto Nationaal Produkt | 14 |
| | 3.5 Parameters van de produktiefunctie | 14 |
| 4 | Berekeningen | 23 |
| | 4.1 Inleiding | 23 |
| | 4.2 Analyse mondiale inkomensverschillen | 23 |
| | 4.3 Indicatie 'Groen BNP' | 25 |
| | 4.4 Economische groei bij constante milieudruk | 26 |
| | 4.5 Duurzame ontwikkeling: een gevoeligheidsanalyse | 27 |
| | 4.6 Visies op duurzame ontwikkeling | 33 |
| 5 | Evaluatie | 39 |
| | 5.1 Inleiding | 39 |
| | 5.2 Evaluatie | 39 |
| | 5.3 Conclusies | 42 |
| | 5.4 Aanbevelingen | 43 |
| | Literatuur | 45 |
| Bijlage A | Berekeningen arbeidsproductiviteit en energieproductiviteit | 51 |
| Bijlage B | Berekeningsresultaten | 53 |

Samenvatting

Het begrip 'duurzame ontwikkeling' heeft wereldwijd een enthousiast onthaal gekregen. Een deel van dit enthousiasme lijkt echter gestoeld op nogal uiteenlopende interpretaties van dit begrip. Zo horen sommigen hierin een aansporing om de economische groei te versterken om armoede en milieuvervuiling het hoofd te kunnen bieden. Anderen beschouwen 'duurzame ontwikkeling' als een variant op 'grenzen aan de groei'. Vooral in de arme landen ziet men het als een gelijk recht op gebruik van het wereldmilieu, waarvan het profijt nu zo ongelijk is verdeeld.

Tegen deze achtergrond beschrijft het voorliggende rapport een voorstudie naar de relatie tussen 'duurzame ontwikkeling' aan de ene kant en economische groei en mondiale inkomensverdeling aan de andere kant.

Vertrekpunt van het onderzoek is dat het milieu is op te vatten als een produktiefactor, net zoals arbeid en kapitaal. Milieu is nodig om te produceren. Hoewel slechts weinig economen milieu een plaats hebben gegeven in de groeitheorie, levert de economische literatuur een goede onderbouwing van dit vertrekpunt. Vervolgens is in de bekende neoklassieke produktiefunctie van Cobb-Douglas het milieu als produktiefactor opgenomen. De coëfficiënten uit de functie zijn geschat. In de neoklassieke benadering werkt het marktmechanisme goed en zijn alle markten in evenwicht. Deze veronderstelling heeft tot gevolg dat het onderzoek vooral bruikbaar is voor ontwikkelingen op lange termijn en veel minder voor economische fluctuaties op korte termijn.

Met de ontwikkelde produktiefunctie is een eenvoudig rekenmodel van de wereldeconomie gemaakt. Drie wereldregio zijn onderscheiden en twee produktiefactoren zijn nodig voor de productie: arbeid en milieu. Hiermee zijn verschillende berekeningen gemaakt.

Het blijkt goed mogelijk om met het rekenmodel de eerder geschetste visies op 'duurzame ontwikkeling' te simuleren. Pessimisme of optimisme over de technische vooruitgang, als ook de milieu-randvoorwaarden die men 'duurzaam' acht, bepalen de consequenties voor de economische groei in sterke mate. De wereldbevolkingsgroei daarentegen heeft vrij weinig invloed op de economische gevolgen van 'duurzame ontwikkeling'.

Hoogstwaarschijnlijk leidt 'duurzame ontwikkeling' tot een lagere economische groei. De mate waarin groeivertraging zal optreden is op basis van deze voorstudie niet nauwkeurig aan te geven. Bij optimistische veronderstellingen is voor de industrielanden een groeivertraging van 0,2% per jaar berekend. Minder rooskleurige uitgangspunten resulteren in nulgroei of zelfs krimp. Om de eerstgenoemde kleine economische repercussies te bereiken is een ongekend sterke verbetering van de milieuproduktiviteit nodig (dit is de hoeveelheid productie of BNP per eenheid vervuiling). Het is de vraag of een dergelijk sterke koerswijziging in de technische en maatschappelijke ontwikkeling realiseerbaar is.

De economische gevolgen voor de ontwikkelingslanden zijn minder groot dan voor de industrielanden, indien het milieugebruik per inwoner gelijk wordt verdeeld in de wereld. Bij een verondersteld gelijk milieugebruik per hoofd verdwijnen de inkomensverschillen tussen Noord en Zuid echter niet; wel worden ze iets kleiner.

Toch betekent ook voor de arme landen dat milieu-randvoorwaarden aan de economische ontwikkeling tot enige groeivertraging zullen leiden. Verder lijkt de economische groei die de Commissie Brundtland nodig acht om de ergste armoede in ontwikkelingslanden op te heffen - jaarlijks 4 à 5% - alléén bij optimistische veronderstellingen benaderd te kunnen worden.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond, opdracht en doel

Het begrip 'duurzame ontwikkeling' is doorgedrongen in vrijwel alle standpunten, voornemens en nota's die in bestuurlijk en maatschappelijk Nederland de afgelopen jaren zijn gepubliceerd. Dit begrip is vooral door de commissie-Brundtland bekend geworden, via haar rapport 'Our common future' (WCED, 1987). Minder bekend is dat ook de neoklassieke economen al duurzame ontwikkeling nastreefden (Van der Straaten, 1990). Dit is een economisch evenwichtige ontwikkeling, waarbij ecologisch evenwicht als vooronderstelling wordt gehanteerd. De definitie van de commissie-Brundtland is wat uitvoeriger en omschrijft dit als een ontwikkeling 'die voorziet in de behoeften van de huidige generatie, zonder de mogelijkheden in gevaar te brengen van toekomstige generaties in hun behoeften te voorzien'.

Onder het vaandel van duurzame ontwikkeling blijken echter veel verschillende opvattingen schuil te kunnen gaan. Deze lopen uiteen van pleidooien om de economische groei sterk te stimuleren, teneinde armoede en milieuvervuiling te kunnen uitbannen, tot het standpunt dat de economie moet krimpen om het milieu - ook als draagvlak van economische activiteiten - in stand te houden. Het is duidelijk dat deze grote verschillen in interpretatie, de bruikbaarheid van het begrip duurzame ontwikkeling verminderen. Tegen deze achtergrond heeft de Directie Strategische Planning van DG Milieubeheer ons bureau opdracht gegeven een voorstudie te doen naar de relatie tussen duurzame ontwikkeling en economische groei. Doel hiervan is om het begrip duurzame ontwikkeling te 'vertalen' in macro-economische grootheden, met name inkomensgroei. De nadruk in deze studie ligt dan ook bij een cijfermatige benadering.

1.2 Uitgangspunten en werkwijze

In verschillende richtingen worden pogingen ondernomen het begrip 'duurzame ontwikkeling' te operationaliseren. Vlot en Van Soest (1992) geven hiervan een overzicht. In de voorliggende studie wordt het begrip 'milieugebruiksruimte' gehanteerd. Uitgangspunt hiervan is dat het mogelijk is op basis van natuurwetenschappelijke inzichten, een - toch in zekere mate normatief - besluit te nemen over het niveau van emissies, het gebruik van natuurlijke voorraden en de aantasting van ecosystemen, dat duurzaam aanvaardbaar is. Weterings en Opschoor (1992) hebben hier een praktische uitwerking aan gegeven.

Het aldus vastgestelde duurzame niveau van milieubelasting is te beschouwen als 'milieugebruiksruimte', waarbinnen de menselijke - en economische - activiteiten moeten blijven.

Andere denkrichtingen om duurzame ontwikkeling te operationaliseren maken niet direct gebruik van dit concept. Toch lijkt het onvermijdelijk

dat ook bij die andere benaderingen in één of ander stadium de draagkracht van het milieu ingebracht moet worden. Bijvoorbeeld als toetsingscriterium.

Algemener gesteld: het begrip duurzame ontwikkeling verliest zijn betekenis, indien het milieu daarin geen duidelijke plaats heeft. Vandaar dat de keuze voor de 'milieugebruiksruimtebenadering' geen wezenlijke beperking van deze studie vormt. De onzekerheden bij het vaststellen van de grenzen van de milieugebruiksruimte komen onder meer tot uitdrukking in een gevoeligheidsanalyse (paragraaf 4.5).

Een tweede kernbegrip in deze studie is 'economische groei'. Hieronder wordt de traditioneel gedefinieerde en gemeten economische productie verstaan. Het gaat hierbij dus om de (markt)waarde van geproduceerde goederen en diensten. De productie is gelijk aan het inkomen en beide begrippen worden als synoniemen gebruikt.

Duidelijk is dat de productie - of het inkomen - geen goede maat is voor de welvaart. De welvaart ontleend aan een schoon en aangenaam natuurlijk milieu telt hierin immers niet mee. Een mogelijk correctie van het Nationaal Inkomen hiervoor, komt in deze studie niet direct aan de orde (zie bijvoorbeeld Hueting e.a., 1992). Wel is er een samenhang: indien de economie binnen de milieugebruiksruimte blijft, dan is het Duurzaam Nationaal Inkomen gelijk aan het traditioneel berekende Nationaal Inkomen. (zie verder paragraaf 4.3)

Het voorliggende onderzoek is nadrukkelijk een voorstudie. Dit komt vooral tot uitdrukking in het beperkte literatuuronderzoek dat ten grondslag ligt aan hoofdstuk 2. Hierbij is vrijwel uitsluitend gebruik gemaakt van overzichtsliteratuur. Op geen stukken na is een volledige literatuurstudie verricht naar de relatie tussen milieu en economische groei. Doel was slechts om achtergronden en overwegingen bij de ontwikkelde produktiefunctie te geven.

Ook het schatten van de technische coëfficiënten (paragraaf 3.5) is slechts gebaseerd op een beperkt onderzoek.

Gezien deze beperkingen had de voorstudie vooral ten doel om de voorgestelde aanpak te toetsen: is het inderdaad mogelijk om via een relatief eenvoudige produktiefunctie kwantitatief inzicht te krijgen in de realiseerbare economische groei, uitgaande van milieurandvoorwaarden? Ten tweede ontstaat hiermee tevens een eerste inzicht in de omvang van de mogelijke spanning tussen duurzame ontwikkeling en economische groei.

2 Denkmodel: milieu als produktiefactor

2.1 Inleiding

Doel van dit hoofdstuk is het aangeven van een theoretisch verband tussen de aanvaardbare milieubelasting en economische groei. Dit gebeurt in twee stappen. Paragraaf 2.2 geeft kort aan welke plaats klassieke en neo-klassieke economen aan het milieu geven. Zoals bij andere auteurs (Heijman, 1991; De Bruin e.a., 1992) is de conclusie hier dat het milieu is op te vatten als produktiefactor, naast arbeid en kapitaal. Hiervan uitgaande komen we in paragraaf 2.3 tot een Cobb-Douglas produktiefunctie, waarin het milieu expliciet als produktiefactor is opgenomen. Deze functie sluit direct aan bij de neo-klassieke groeitheorie.

Voor de exercities die met de gekozen produktiefunctie in dit rapport gedaan worden, zijn nog enige extra veronderstellingen nodig. Deze komen in paragraaf 2.4 aan de orde. Tenslotte gaan we in paragraaf 2.5 in op een aantal beperkingen van de door ons gehanteerde produktiefunctie.

2.2 Het milieu als produktiefactor

De klassieke economen beschouwden het milieu als één van de produktiefactoren, naast arbeid en kapitaal (deze paragraaf is grotendeels gebaseerd op Van der Straaten, 1990, Heijman, 1991, De Boer, 1992 en De Bruijn e.a., 1992). Zij gebruikten echter niet de term 'milieu', maar het algemene begrip 'natuur'. Een nadere uitwerking hiervan in bijvoorbeeld 'natuurlijke hulpbronnen', 'milieuvervuiling' of 'functieverlies' ontbreekt grotendeels. Sommige klassieke economen hebben weinig aandacht besteed aan de 'natuur', wegens optimistische veronderstelling over de vooruitgang van wetenschap en techniek. Andere - rond 1800 - hebben een dreigende voedselschaarste bestudeerd, veroorzaakt door de onmogelijkheid om steeds meer agrarische producten te onttrekken aan de natuurlijke kringlopen (Wet van de Afnemende Meeropbrengsten). Hierin kwamen mogelijke beperkingen van de produktiefactor 'natuur' tot uiting.

Bij de neo-klassieke economen is het milieu als produktiefactor nog verder op de achtergrond geraakt. Dit kwam doordat de marktprijs basis werd voor de waardebeoordeling van goederen en tevens doordat de industriële revolutie de beperkingen van het milieu leek te hebben overwonnen, of in ieder geval aan het zicht onttrok. Er was voor economen geen reden om het milieu in beschouwing te nemen, omdat er geen milieuprobleem was.

Toch biedt de neo-klassieke economische theorie een direct aangrijpingspunt om het milieu erin op te nemen. Het gaat hier om de zogenaamde externe effecten. Externe effecten zijn invloeden, die uitgaan

van de consumptie of produktie van de één op het nut van de ander. Zij werken direct, buiten de markt om. Daardoor houden degenen die de externe effecten veroorzaken, er bij hun beslissingen geen rekening mee (Hartog, 1981). Externe effecten verstoren de welvaartsmaximilisatie, zoals de neo-klassieke theorie beschrijft als uitkomst van perfect werkende markten. Het is duidelijk dat milieuvervuiling een belangrijk extern effect is van de huidige produktie en consumptie. Meerdere pogingen zijn ondernomen om de optredende milieuvervuiling in geld te waarderen. Het is hier niet de plaats om een overzicht te geven van mogelijke waarderingsmethoden (zie bijvoorbeeld Sips, 1991). In het CBS-project 'Duurzaam Nationaal Inkomen' is een belangrijke stap gezet naar een bredere acceptatie van methoden die zijn gebaseerd op de kosten die gemaakt *hadden moeten worden* om de vervuiling tot acceptabele niveaus terug te dringen (Hueting e.a., 1992).

Via de achterdeur van de externe effecten is het milieu dus weer teruggekomen in de neo-klassieke theorie. Na internalisatie zullen de marktpartijen het milieu gaan behandelen als een produktiefactor waaraan kosten zijn verbonden; evenals aan arbeid en kapitaal.

Na ongeveer 1960 zijn veel publikaties verschenen, die rechtstreeks de relatie tussen milieu en economie als onderwerp hadden (zie voor een overzicht bijvoorbeeld Van der Straaten, 1990, Heijman, 1991 en De Boer, 1992). De toenemende milieuverlechtering zal de belangrijkste stimulans hiertoe zijn geweest. Het is hier niet nodig een overzicht van de gepresenteerde inzichten en opvattingen te geven. Voor het doel van de voorliggende studie is het voldoende te concluderen, dat de economische theorie voldoende aanknopingspunten biedt om het milieu als produktiefactor te zien; net zoals arbeid en kapitaal. Ook Heijman (1991) bijvoorbeeld beschouwt natuurlijke grondstoffen expliciet als produktiefactor. Hier wordt het wat bredere begrip milieu gehanteerd.

De afwezigheid van milieuproblemen - of van het besef ervan - heeft er echter toe geleid, dat het milieu meestal werd 'vergeten' in de theorievorming en in de economische politiek. Voor dit onderzoek is vooral de groeitheorie van belang. In leerboeken blijkt de niet-gespecificeerde produktiefunctie de volgende gedaante te hebben (Kuipers en Wilpstra, 1983; Van de Klundert, 1975):

$$Y = f(L, K, T) \tag{1}$$

met: Y = produktievolume
 L = arbeidsvolume
 K = kapitaalvoorraad
 T = stand van de technische ontwikkeling

Gezien het voorgaande, dient het milieu (M) hieraan te worden toegevoegd:

$$Y = f(L, K, M, T). \tag{2}$$

Door het milieu toe te voegen als produktiefactor, ontstaat ook direct enig inzicht in de economische oorzaken van de omvangrijke milieuvervuiling. Het milieu is immers een - vrijwel - gratis produktiefactor. De goedkoopste manier om in die situatie de produktie te vergroten is dan

om meer van het milieu te gebruiken. Dit is ook op grote schaal gebeurd. Zo bezien is de produktiegroei tijdens en na industriële revolutie niet alléén ontstaan door technische vooruitgang, maar ook door een substitutie van arbeid naar kapitaal en milieu. Vooral immers de nieuwe technische mogelijkheid om fossiele brandstoffen nuttig te gebruiken kenmerkt de industriële revolutie.

2.3 Produktiefunctie

In deze paragraaf wordt de produktiefunctie uit (2) nader gespecificeerd, uitgaande van een bepaalde aanname omtrent de produktiviteitsontwikkeling. Het zal blijken dat deze aanname leidt tot een Cobb-Douglas produktiefunctie met een constante groeivoet van de produktiviteit.

Allereerst definiëren we de volgende drie factorproductiviteiten:¹

arbeidsproductiviteit: hoeveelheid produkt per eenheid arbeid (Y/L)
 kapitaalproductiviteit: hoeveelheid produkt per eenheid kapitaal (Y/K)
 milieuproductiviteit: hoeveelheid produkt per eenheid milieu (Y/M)

Deze produktiviteiten geven dus de verhouding weer tussen de inzet van de produktiefactoren en de produktie als output. Hiermee geven ze de stand van de techniek weer. Deze kan veranderen door technische en organisatorische vernieuwingen, maar ook door substitutie tussen de produktiefactoren. Zo zal het bijvoorbeeld voor de hand liggen dat minder inzet van milieu de produktie doet afnemen en daarmee de arbeids- en kapitaalproductiviteit.

Wij zullen nu de volgende veronderstelling maken.

$$\alpha g_{Y/L} + \beta g_{Y/K} + \gamma g_{Y/M} = \varepsilon \quad , \text{ met } \alpha + \beta + \gamma = 1 \quad (3)$$

waarbij g_i de groeivoet van de betreffende grootheid i voorstelt en α , β , γ en ε positieve parameters zijn.² In woorden staat hier dus dat de gewogen som van de groei in de arbeids-, de kapitaal- en de milieuproductiviteit constant (namelijk ε) moet zijn.

Deze hypothese is als volgt te verantwoorden. Enerzijds zijn de resultaten van onderzoek en ontwikkeling - of het menselijk vernuft - begrensd. Daarom is de produktiviteitsgroei ε (gesymboliseerd door ε) een gegeven. Anderzijds kan er nog gekozen worden in welke richting deze technische ontwikkeling (vooral) wordt ingezet, waarbij er een uitruilmecanisme optreedt: meer aandacht voor groei in de milieuproductiviteit gaat bijvoorbeeld ten koste van de groei in de arbeids- en/of kapitaalproductiviteit.

¹ Het gaat hier om **gemiddelde** factorproductiviteiten, d.w.z. de totale produktie gedeeld door de totale inzet van de produktiefactor. Dit in tegenstelling tot de **marginale** factorproductiviteit: de hoeveelheid extra produktie ten gevolge van de inzet van een eenheid extra produktiefactor.

² Merk hierbij op dat de voorwaarde $\alpha + \beta + \gamma = 1$ geen beperking der algemeenheid inhoudt. Zou deze optelling een andere waarde opleveren, zeg n , dan zou vergelijking (3) door n gedeeld kunnen worden, daarmee de voorwaarde $\alpha + \beta + \gamma = 1$ herstellend zonder dat het vereiste verband tussen de groeivoeten wijzigt.

In (3) geven de parameters α , β en γ aan, in welke mate de produktiviteitsgroei van de ene factor ten koste gaat van die van de andere factoren (een lage waarde voor γ houdt b.v. in, dat een hoge groei in de milieuproduktiviteit relatief weinig consequenties heeft voor de groei in de andere produktiviteiten), terwijl de parameter ε de gewogen som van de factorproduktiviteiten verbeeldt. Deze parameters kunnen ook anders geïnterpreteerd worden door (3) iets om te schrijven:³

$$g_Y = \alpha g_L + \beta g_K + \gamma g_M + \varepsilon \quad , \text{ met } \alpha + \beta + \gamma = 1 \quad (4)$$

Allereerst blijkt nu dat de parameter ε gelijk is aan de produktiviteitsgroei, die is immers gedefinieerd als de produktiegroei die overblijft wanneer de inzet van de produktiefactoren constant blijft (d.w.z. wanneer $g_L = g_K = g_M = 0$). Tevens kunnen de parameters α , β en γ geïnterpreteerd worden als respectievelijk de arbeids-, de kapitaals- en de milieu-elasticiteit van de produktie. Immers, om als voorbeeld de arbeidselasticiteit te nemen, uit (3) blijkt dat een procentuele verandering van de arbeidsinzet met g_L een procentuele verandering van de produktie van αg_L met zich meebrengt. De arbeidselasticiteit van de produktie is dan dus $\alpha g_L / g_Y = \alpha$. Het blijkt dus dat ons uitgangspunt een produktie veronderstelt met vaste factorelasticiteiten van de produktie en een vaste produktiviteitsgroei. Het is dan direct duidelijk dat het hier gaat om een Cobb-Douglas produktiefunctie met een vaste exponentiële groeifactor:⁴

$$Y = ce^{\varepsilon t} L^\alpha K^\beta M^\gamma \quad , \text{ met } \alpha + \beta + \gamma = 1 \quad (5)$$

waarbij c een normeringsconstante is en t staat voor de tijd.

Wellicht ten overvloede staan we nog even stil bij de vraag waarom de factorelasticiteiten van de produktie bepalen in welke mate de produktiviteitsgroei van de ene produktiefactor ten koste gaat van die van de andere. Als voorbeeld bekijken we een relatieve toename van de inzet van de produktiefactor milieu. Bij een relatief lage (hoge) milieu-elasticiteit γ leidt dit tot een relatief kleine (grote) produktiestijging. Dit betekent dan dat de milieuproduktiviteit een relatief grote (kleine) daling ondergaat, terwijl de andere factorproduktiviteiten juist een relatief kleine (grote) stijging zullen kennen. Kortom, als de produktie relatief ongevoelig is voor de inzet van de produktiefactor milieu betekent dit dat relatief grote veranderingen in de milieuproduktiviteit gepaard gaan met relatief kleine veranderingen in de andere factorproduktiviteiten en vice versa.

De globale lijn van het rapport is nu aldus. Op grond van het verleden en van enkele bestaande prognoses worden er schattingen gemaakt voor de parameters uit de produktiefunctie (zie hoofdstuk 3). Tevens worden er veronderstellingen gemaakt over de ontwikkeling van de produktiefactoren arbeid en kapitaal (zie paragraaf 2.4 en hoofdstuk 3). Dan is het dus mogelijk om de consequenties van duurzame ontwikkeling (vertaald

³ Dit volgt vrijwel direct met de regel dat de groeivoet van een quotiënt gelijk is aan het verschil van de groeivoet van de teller en die van de noemer.

⁴ Dit is ook eenvoudig mathematisch uit (4) af te leiden door de groeivoeten uit te schrijven en de resulterende differentiaalvergelijking te integreren. De factor c in (5) is dan de integratieconstante.

in de maximaal toelaatbare inzet van de produktiefactor milieu) op de produktie door te rekenen. Dit wordt dan ook gedaan in hoofdstuk 4.

2.4 Extra veronderstellingen

In deze paragraaf worden de veronderstellingen gepresenteerd, die wij hanteren voor de ontwikkeling van de produktiefactoren arbeid en kapitaal. Voorts wordt aangegeven welke veronderstelling in dit rapport wordt gemaakt om de produktiefactor milieu te kwantificeren. Vervolgens worden deze veronderstellingen verwerkt in de in de vorige paragraaf gespecificeerde produktiefunctie.

Er zal verondersteld worden dat het arbeidsvolume zich evenredig met de bevolkingsomvang N zal ontwikkelen:

$$L = \lambda N \quad (6)$$

met λ een positieve constante kleiner dan 1. Voor prognoses omtrent de ontwikkeling van de bevolkingsomvang kunnen dan bijvoorbeeld V.N.-prognoses worden genomen. Zie verder paragraaf 3.2 hierover.

Met betrekking tot het verwachte verloop van de kapitaalvoorraad het volgende. Uit verschillende studies (Kuipers en Wilpstra, 1983 en Jorgenson et al., 1987) blijkt dat in het verleden de kapitaalcoëfficiënt κ (de hoeveelheid kapitaal per eenheid produktie) min of meer constant was. Eenvoudigheidshalve gaan we er daarom vanuit dat dit ook in de toekomst zo zal blijven:

$$K = \kappa Y \quad (7)$$

Tenslotte zal wat betreft kwantitatieve gedeelte van onze analyse de inzet van de produktiefactor milieu M verondersteld worden evenredig te zijn met de inzet van de produktiefactor fossiele energie E :

$$M = \mu E \quad (8)$$

met μ een positieve constante. Argumenten voor deze evenredigheid worden gegeven in paragraaf 3.3.

Substitutie van de veronderstellingen (6) tot en met (8) in de produktiefunctie (5) leidt tot de volgende afgeleide produktiefunctie:⁵

$$Y = d e^{\delta t} N^{1-\eta} E^{\eta} \quad (9)$$

waarbij de parameter d een positieve normeringsconstante is.

Merk hierbij op dat door de veronderstelling dat kapitaal evenredig met de produktie mee verandert [zie (7)] kapitaal als onafhankelijke produktiefactor uit de produktiefunctie (9) verdwenen is. Vandaar dat wij in het vervolg de parameters δ en η als volgt zullen aanduiden:

δ produktiviteitsgroei; in dit verband de jaarlijkse groei in de produktie als de bevolkingsomvang en de inzet van fossiele energie

⁵ Om volledig te zijn: $d = (c\lambda^{\alpha}\kappa^{\beta}\mu^{\gamma})^{1/(1-\beta)}$, $\delta = \varepsilon/(1-\beta)$ en $\eta = \gamma/(1-\beta)$.

constant blijven, terwijl het kapitaal evenredig aan de produktie meegroeit.

- η energie-elasticiteit van de produktie; in dit verband de relatieve groei in de produktie t.g.v. een toename van de energie-inzet en een evenredig met de produktie meegroeiende kapitaalvoorraad, gedeeld door de relatieve groei in de energie-inzet.

Ten gevolge van het impliciet meegroeien van de factor kapitaal met de produktie hebben beide parameters een hogere waarde ten opzichte van een situatie waarin de factor kapitaal als onafhankelijke produktiefactor constant zou worden gehouden.⁶

2.5 Evaluatie

In deze paragraaf bespreken we enige beperkingen van de door ons gehanteerde Cobb-Douglas produktiefunctie en noemen we andere empirische studies, waarin energie als produktiefactor wordt meegenomen.

Uit de literatuur is bekend dat het hanteren van een Cobb-Douglas produktiefunctie inhoudt dat aangenomen wordt dat de substitutie-elasticiteiten tussen de onderscheiden produktiefactoren gelijk aan 1 zijn.⁷ Hieronder bespreken we kort hoe deze impliciete aanname zich verhoudt met empirisch gevonden waarden voor deze elasticiteiten. Hierbij gaan we uit van het overzicht dat Magnus (1979, p. 481) geeft van een aantal empirische studies.

arbeid/energie: De waarden lopen uiteen tussen 0,6 en 2,4, maar de meesten liggen rond de 1.

kapitaal/energie: De meeste waarden zijn negatief, erop duidend dat kapitaal en energie complementair zijn. Eén studie vindt een (positieve) waarde van rond de 1. Er zijn argumenten te geven dat juist deze laatste waarde de lange-termijn substitutie-elasticiteit weergeeft en de andere waarden alleen voor de korte termijn gelden. Dit is bemoedigend aangezien wij in deze studie juist geïnteresseerd zijn in de langere termijn.

arbeid/kapitaal: De meeste waarden liggen rond de 1, een paar daar substantieel onder.

Concluderend stellen we dat de aanname dat de substitutie-elasticiteiten gelijk aan 1 zijn, weliswaar een beperking inhoudt, maar dat er enige empirische ondersteuning is voor deze aanname.

⁶ De beide parameters zijn hierdoor een factor $1/(1-\beta)$ hoger, zoals uit voetnoot 5 blijkt.

⁷ De substitutie-elasticiteit tussen b.v. energie en arbeid geeft aan hoe een prijeverandering van energie doorwerkt op de vraag naar arbeid en vice versa. Een positieve substitutie-elasticiteit geeft aan dat de factoren **substituten** zijn: als de prijs van energie hoger wordt dan stijgt de vraag naar arbeid, omdat door de prijeverandering substitutie plaatsvindt van energie naar arbeid. Omgekeerd betekent een negatieve substitutie-elasticiteit dat de factoren **complementen** zijn: als de prijs van energie hoger wordt dan daalt de vraag naar arbeid, omdat door de prijeverandering energie minder wordt ingezet en dat in dit geval inhoudt dat dan ook minder arbeid ingezet kan worden.

In het volgende hoofdstuk zullen wij tot een schatting van de energie-elasticiteit van de produktie η komen. Uitgaande van winstmaximalisatie en/of kostenminimalisatie en deze gevonden energie-elasticiteit, kunnen we dan uitspraken doen over het budgetaandeel dat energie in de totale kosten moet hebben en over de prijselasticiteit van de vraag naar energie die moet gelden. Deze uitspraken blijken niet consistent te zijn met directe empirische waarnemingen van deze grootheden. Zoals daar besproken zal worden, is deze inconsistentie waarschijnlijk terug te voeren op de te simpele specificatie van de produktiefunctie.

In deze paragraaf is gebleken dat de Cobb-Douglas specificatie van de produktiefunctie een aantal beperkingen inhoudt, die voor een deel tot inconsistenties met empirische waarnemingen leiden. Binnen het bestek van deze studie was het echter niet mogelijk en evenmin de bedoeling een meer algemene produktiefunctie te hanteren.

Afsluitend willen wij wel wijzen op ander onderzoek dat uitgaat van meer algemene produktiefuncties met energie als produktiefactor. Magnus (1979) is een voorbeeld van een dergelijke studie. Hierin zijn ook verwijzingen te vinden naar vier andere relevante studies. Overigens zijn de resultaten van deze studies niet direct bruikbaar voor de exercities die wij in hoofdstuk 4 van dit rapport uitvoeren.

3 Rekenmodel: de invoergegevens

3.1 Inleiding

Dit hoofdstuk verzamelt de gegevens, die nodig zijn om berekeningen te maken met de produktiefunctie (9) uit paragraaf 2.3. Hierbij worden drie wereldregio onderscheiden:

- OECD-landen;
- Oost-Europa en GOS;
- overige landen.

Het was de bedoeling nog een groep 'Nieuwe Industrielanden' afzonderlijk te onderscheiden. Hier is vanaf gezien, omdat van Taiwan geen BNP-cijfers beschikbaar zijn en de overige vier landen in deze groep slechts circa 1,5% van de wereldbevolking en van het wereld-BNP vertegenwoordigen.

3.2 Bevolking en arbeidsvolume

Zoals reeds aangegeven in het vorige hoofdstuk wordt in deze studie de vereenvoudigende aanname gedaan dat het arbeidsvolume evenredig is aan de bevolkingsomvang. Met deze veronderstelling zijn nu slechts gegevens over de bevolkingsontwikkeling nodig.

Voor een eerste benadering is deze vereenvoudiging verantwoord en deze voorkomt het gebruik van prognoses voor de ontwikkeling van de wereldwijde arbeidsmarkt. Verder sluit deze aanname aan bij het neoklassieke uitgangspunt dat ook op de arbeidsmarkt evenwicht ontstaat, zodat geen structurele werkloosheid zal blijven bestaan.

De cijfers over de bevolkingsomvang in 1990 zijn ontleend aan 'World Resources 1992-93' en volgens de bronvermelding gebaseerd op de 'United Nations Population Division and International Labour Office' (WRI, 1992).

De bevolkingsomvang in de periode tussen 2025 en 2050 is gebaseerd op prognoses van de Verenigde Naties (UN, 1992). Hierbij zijn drie varianten onderscheiden voor de bevolkingsgroei: laag, midden en hoog. Omdat de prognoses van de VN betrekking hebben op andere groepen landen dan de wereldregio in de voorliggende studie, waren enkele aannamen nodig voor de omrekening:

- de verdeling over de wereldregio in de prognose 2025(midden) is ontleend aan WRI (1992);
- de verdeling over de wereldregio in 2050-m is benaderd door te veronderstellen dat de bevolkingsgroei in Oost-Europa en het GOS gelijk is aan de UN-prognose voor de USSR (groei tussen 2025 en 2050) en de groei in de overige landen gelijk aan de UN-prognose van groep I (slechts geringe verschillen in definitie);
- de prognose 2025-l en -h en 2050-l en -h zijn gemaakt door de totale wereldbevolking in dat jaar (UN, 1992) te verdelen over de wereldregio zoals in de midden-varianten.

Tabel 3.1 geeft de resultaten weer.

Tabel 3.1 Ontwikkeling wereldbevolking

| | 1990 | | 2025 | | | 2050 | | |
|--------------------|-------|------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|
| | | | laag | midden | hoog | laag | midden | hoog |
| OECD-landen | 833 | 16% | 834 | 935 | 1.038 | 727 | 933 | 1.164 |
| Oost-Europa en GOS | 429 | 8% | 452 | 506 | 562 | 426 | 546 | 682 |
| Overige landen | 4.031 | 76% | 6.305 | 7.064 | 7.844 | 6.660 | 8.540 | 10.660 |
| Wereld | 5.292 | 100% | 7.591 | 8.504 | 9.444 | 7.813 | 10.019 | 12.506 |
| Groei t.o.v. 1990 | | | 43% | 61% | 78% | 48% | 89% | 136% |

in miljoenen

Bronnen: UN, 1992; WRI, 1992; eigen benaderingen

In het rekenmodel zal de bevolkingsomvang in de jaren tussen 2025 en 2050 tot stand komen door lineaire interpolatie.

3.3 Milieudruk en energiegebruik

In de oorspronkelijke produktiefunctie (5) is het beslag op het milieu, of de milieudruk, opgenomen. Het 'milieu' is echter een verzamelnaam voor veel verschillende kwaliteiten. Om enkele belangrijke te noemen: een stabiel klimaat, het aantal planten- en diersoorten, de bescherming door de ozonlaag, de kwaliteit van bodem, water en lucht - onder meer voor vele gebruiksfuncties - en rust en ruimte. Het spreekt voor zich dat het zeer moeilijk is om al deze eigenschappen in één milieumaat te vangen. Toch is kwantificering van de milieudruk nodig om te kunnen rekenen met de produktiefunctie. Dit onderzoek kiest het gebruik van fossiele brandstoffen als indicator van de milieudruk. Hiervoor zijn twee redenen. Ten eerste zijn mondiale cijfers beschikbaar over het gebruik van fossiele brandstoffen. Dit geldt niet voor veel andere denkbare milieumaten. Ten tweede is het gebruik van fossiele brandstoffen direct gerelateerd aan belangrijke milieuproblemen. Dit geldt voor het broeikas-effect - CO₂ en methaan -, maar ook in belangrijke mate voor verzurende emissies als SO₂ en NO_x.

Verder is te verwachten dat de input van materialen in het economische proces ook in zekere mate gerelateerd is aan het energiegebruik. Het vervaardigen van bruikbare materialen uit ruwe grondstoffen is namelijk nogal energie-intensief. Denk aan de basismetaleen, de basis- en petrochemie, bouwmaterialenindustrie, papier- en kartonindustrie. Deze bedrijfstakken zijn samen goed voor circa 80% van het industriële energiegebruik in Nederland.

De materialen die de economie ingaan, moeten er ook weer ergens uitkomen (de zogenoemde 'Materials balance'; zie o.a. Heijman, 1991).

Dit gebeurt in de vorm van afval of van emissies naar bodem, water en lucht.

Op grond van de voorgaande redenering is het aannemelijk dat de hoogte van het energiegebruik ook enigszins gerelateerd is aan het gebruik van grondstoffen (uitputting van natuurlijke voorraden), het afval-volume en verspreide emissies naar bodem, water en lucht.

Het fossiele energiegebruik lijkt hiermee een redelijk goede maat voor de milieudruk.

De cijfers over het energiegebruik in 1989 zijn ontleend aan een publicatie van de Verenigde Naties (UN, 1991a).

Tabel 3.2 Energiegebruik in 1989

| | | |
|--------------------|-------|------|
| OECD-landen | 5.015 | 51% |
| Oost-Europa en GOS | 2.517 | 25% |
| Overige landen | 2.373 | 24% |
| Wereld | 9.905 | 100% |

in miljoen ton steenkool equivalent

Bron: UN, 1991a

Voor het toekomstige fossiele energiegebruik wordt géén prognose gehanteerd, maar gelden juist beleidsmatige uitgangspunten. Dit betreft zowel toelaatbare mondiale energiegebruik, als de verdeling hiervan over de drie wereldregio.

Voor het toelaatbare mondiale verbruik van fossiele brandstoffen wordt gebruik gemaakt van de analyse van Weterings en Opschoor (1992) van de beschikbare milieugebruiksruimte. Zij concluderen onder meer dat de aanvaardbare emissies van CO₂ een nauwere grens stellen aan het verbruik van fossiele brandstoffen, dan de eventuele uitputting van de voorraden. Vooral steenkool is nog relatief overvloedig aanwezig. Op basis van verschillende studies concluderen Weterings en Opschoor (1992), dat een duurzaamheids criterium voor de jaarlijkse CO₂-emissie gedurende de volgende eeuw neerkomt op 2,6 Gigaton koolstof. De huidige emissie bedraagt 6,4 Gigaton, zodat een reductie van de mondiale CO₂-uitstoot met 60% nodig is, om aan dit duurzaamheids criterium te voldoen. Overigens zullen bij de modelberekeningen ook andere uitgangspunten voor de te realiseren CO₂-reductie worden gehanteerd (zie paragraaf 4.5 en 4.6).

De verdeling van de CO₂-uitstoot over de drie wereldregio's vormt eveneens een te variëren uitgangspunt bij de modelberekeningen. In de basisvariant wordt verondersteld dat na een overgangperiode van 45 jaar, de CO₂-uitstoot per hoofd van de bevolking in OECD-landen gelijk is aan die in de overige landen. Dit sluit aan bij de omschrijving van duurzaamheid van de Commissie Brundtland, waarin sprake is van 'binnen één generatie' (WCED, 1987).

Overigens hanteert de Nota Klimaatverandering (1991) een periode tot het jaar 2100, om de CO₂-emissies te verlagen tot 2,7 Gigaton koolstof. In het jaar 2025 zou een emissiereductie met 35 à 40% nodig zijn, volgens de door het RIVM ontwikkelde variant van het IPCC-scenario D (zie Nota Klimaatverandering).

3.4 Bruto Nationaal Produkt

Als maat voor de produktie wordt het BNP opgenomen. De cijfers over 1989 zijn ontleend aan een publikatie van de Verenigde Naties (UN, 1991b).

Tabel 3.3 BNP in 1989

| | | |
|--------------------|--------|------|
| OECD-landen | 10.079 | 69% |
| Oost-Europa en GOS | 1.302 | 9% |
| Overige landen | 3.193 | 22% |
| Wereld | 14.574 | 100% |

in miljard US \$ van 1980

Bron: UN, 1991b

3.5 Parameters van de produktiefunctie

Doel van deze paragraaf is om inzicht te krijgen in de waarde van de parameters van de door ons gehanteerde produktiefunctie (9), nl. de jaarlijkse produktiviteitsgroei δ en de energie-elasticiteit van de produktie η . Allereerst wordt dit gedaan door een tijdreeksanalyse voor Nederland over de afgelopen 40 jaar. Daarna wordt het inzicht in de mogelijke waarden van de produktiviteitsgroei δ verdiept door in kaart te brengen hoe deze groei is geweest in andere delen van de wereld en door na te gaan welke produktiviteitsgroei het CPB hanteert in zijn toekomstvoorspellingen. Vervolgens wordt gekeken wat de gevonden waarde voor de energie-elasticiteit van de produktie η precies inhoudt. Daaruit zal blijken dat de door ons gehanteerde produktiefunctie in sommige opzichten tot discrepanties met de werkelijkheid leidt. De paragraaf wordt afgesloten met enige conclusies.

Regressie-analyse voor Nederland

In deze subparagraaf worden de parameters van de door ons gehanteerde produktiefunctie, nl. de jaarlijkse produktiviteitsgroei δ en de energie-elasticiteit van de produktie η , geschat d.m.v. een tijdreeksanalyse voor Nederland over de afgelopen 40 jaar.

Allereerst leiden we een vergelijking uit de produktiefunctie (9) af, die zich gemakkelijk leent tot regressie-analyse. Uit (9) is eenvoudig het volgende verband af te leiden tussen de groeivoet van de produktie g_Y

en de groeivoeten van de bevolking g_N en de fossiele energie g_E (verge-
lijk met (4)):

$$g_Y = \delta + (1-\eta)g_N + \eta g_E \quad (10)$$

De regressie-analyse wordt nog iets vergemakkelijkt, als we deze
vergelijking omschrijven tot:⁸

$$g_{Y/N} = \delta + \eta g_{E/N} \quad (11)$$

In woorden staat hier dat de groei in de 'bevolkingsproduktiviteit' gelijk
is aan een vaste waarde (nl. δ) en verder alleen (positief lineair) afhangt
van de groei in het energiegebruik per inwoner.

Uiteraard zal het in (11) gepostuleerde verband in de praktijk nooit
precies gelden vanwege allerlei verstoringen. Denk hierbij bijvoorbeeld
aan conjunctuurschommelingen. Daarom wordt aan (11) een stochasti-
sche storingsterm ε toegevoegd:

$$g_{Y/N,t} = \delta + \eta g_{E/N,t} + \varepsilon_t \quad (12)$$

Bovenstaand verband moet voor elk jaar gelden. Om dit expliciet te
maken is daarom aan de variabelen een index t , die het jaar aangeeft,
toegevoegd. Mits nu voor een voldoende aantal jaren t waarden voor de
groeivoet van de 'bevolkingsproduktiviteit' $g_{Y/N,t}$ en de groeivoet van het
energiegebruik per inwoner $g_{E/N,t}$ bekend zijn, zijn de waarden van de
parameters δ en η uit (12) te schatten met de 'gewone-kleinste-kwadra-
tenmethode'.⁹ Alvorens de resultaten hiervan te bespreken gaan we
nog even in op de gebruikte data.

Uit CBS-gegevens is voor de periode 1948-1991 van jaar tot jaar
bekend hoe de productie, de bevolking en het energiegebruik zich in
Nederland ontwikkeld hebben. Derhalve hadden wij de beschikking over
42 jaren waarvoor afzonderlijk de groeivoeten van de relevante groothe-
den bekend waren.¹⁰ Meer specifiek zijn de volgende gegevens ge-
bruikt.

productie: als maat hiervoor is het bruto binnenlands produkt gebruikt.
Bron van data: CBS (1992, tabel H3, p. 68).

bevolking: in dit rapport wordt de vereenvoudigende veronderstelling
gehanteerd dat het arbeidsvolume evenredig is met de
bevolking. Voor een regressie met Nederlandse data is deze
aanname echter niet nodig, omdat gegevens over het ar-
beidsvolume even gemakkelijk beschikbaar zijn als gegevens
over de bevolking. Wij gaan in de regressie daarom uit van
de ontwikkelingen in het arbeidsvolume gemeten in mensja-

⁸ Vergelijking (11) wordt uit (10) gevonden door in (10) aan beide kanten g_N af te
trekken en daarna de regel toe te passen dat de groeivoet van een quotiënt gelijk
is aan het verschil van de groeivoet van de teller en die van de noemer.

⁹ Deze methode komt erop neer dat naar die waarden van de parameters δ en η
wordt gezocht, die de verwachtingswaarde van de storingsterm nul maken en de
variantie minimaliseren.

¹⁰ Het jaar 1969 viel uit door gebrek aan gegevens.

ren.¹¹ Bron van data: CBS (1989, p. 159) aangevuld met CBS (1992, tabel D12, p. 103).

energie: hiervoor is het totale fossiele binnenlandse energiegebruik genomen. Merk hierbij op dat het wellicht beter is om alleen het verbruik van het bedrijfsleven te nemen. In deze eerste exercitie is hier echter vanaf gezien. Bron van data: directe levering door CBS.

In tabel 3.4 zijn de gebruikte data - op geaggregeerd niveau - weergegeven.

Tabel 3.4 Gemiddelde groei per jaar voor Nederland van het bruto binnenlandse product (BBP), het arbeidsvolume en het energiegebruik.

| periode | BBP | arbeid | energie |
|-----------|-----|--------|---------|
| 1950-1959 | 4,1 | 0,9 | 4,2 |
| 1960-1969 | 5,3 | 1,1 | 7,6 |
| 1970-1979 | 3,3 | 0,2 | 5,0 |
| 1980-1989 | 1,6 | 0,3 | -0,9 |
| 1949-1991 | 3,6 | 0,7 | 4,0 |

Tabel 3.5 Resultaten van regressie.

| | |
|--|-----------------|
| Aantal waarnemingen | 42 |
| R-kwadraat | 0,30 |
| productiviteitsgroei, δ | 2,2 \pm 0,3 |
| energie-elasticiteit van productie, η | 0,21 \pm 0,05 |

In tabel 3.5 zijn de resultaten van de regressie-analyse op bovenstaande data vermeld. Hierbij zijn de volgende kanttekeningen te plaatsen.

- R-kwadraat is gelijk aan 30%, dat wil zeggen dat een substantieel gedeelte (nl. 30%) van de geconstateerde schommelingen in de groeivoet van de arbeidsproductiviteit verklaard kan worden uit de wisselende groei in het energiegebruik per arbeidsjaar.
- De jaarlijkse productiviteitsgroei δ is significant van nul verschillend en substantieel. Merk hierbij op dat om een tweetal redenen hier een relatief grote productiviteitsgroei gevonden wordt. (i) Zoals al vermeld aan het einde van hoofdstuk 2 is in deze productiviteitsgroei impliciet de invloed van de groei van de kapitaalvoorraad verwerkt.

¹¹ Merk hierbij op dat de vergelijkingen (10)-(12) ook gelden met de bevolking N vervangen door het arbeidsvolume L . Sterker: deze vergelijkingen gelden voor de bevolking N alleen als veronderstelling (6) opgaat, terwijl deze vergelijkingen voor het arbeidsvolume L opgaan ongeacht het al of niet gelden van (6).

(ii) In deze studie wordt de groei van de kwaliteit van arbeid niet afzonderlijk gemeten, zoals in sommige andere studies (zie b.v. Jorgenson et al., 1987) wel wordt gedaan. Door dit niet expliciet opnemen van de kwaliteitsgroei van arbeid komt deze (wel opgetreden) kwaliteitsgroei tot uiting in een hogere waarde van δ .

- De energie-elasticiteit van de productie ligt binnen de theoretisch vereiste grenswaarden (tussen 0 en 1).
- Bij deze regressie-analyse is impliciet aangenomen dat de parameters δ en η van de produktiefunctie structureel zijn, dat wil in dit verband zeggen dat hun waarden over de afgelopen 40 jaar niet zijn veranderd. De sterkere produktiviteitsgroei in de jaren '60 t.o.v. die in de jaren '80 wordt in deze zienswijze niet verklaard uit een afname in de structurele produktiviteitsgroei δ , maar uit wisselingen in de stochastische storingsterm ε (12) en uit de hogere groei in het energiegebruik.

Andere waarden voor de produktiviteitsgroei δ

In de vorige subparagraaf is inzicht verkregen over de historische waarde van de produktiviteitsgroei δ in Nederland. In deze subparagraaf willen wij het inzicht in de mogelijke waarden van de produktiviteitsgroei δ vergroten door:

- (i) het in kaart brengen van de verwezenlijkte produktiviteitsgroei in andere delen van de wereld;
- (ii) na te gaan welke produktiviteitsgroei het CPB (impliciet) hanteert in zijn toekomstvoorspellingen.

Bij onderdeel (i) bleek dat het binnen het bestek van deze studie niet mogelijk was om voor andere landen/regio's voldoende waarnemingen te verzamelen voor een regressie-analyse, zoals die in de vorige subparagraaf is uitgevoerd. Daarom hebben wij ons tot het volgende beperkt. Per onderscheiden regio is er gekeken hoe de 'bevolkingsproductiviteit' en de energieproductiviteit zich ontwikkeld hebben. Daarnaast is verondersteld dat de energie-elasticiteit van de productie η voor deze regio's gelijk is aan de waarde die in de vorige subparagraaf gevonden is voor Nederland (nl. 0,21). Dan is de waarde voor de produktiviteitsgroei δ eenvoudig te berekenen uit:

$$\delta = (1-\eta)g_{Y/N} + \eta g_{Y/E} \quad (13)$$

Zoals al besproken in hoofdstuk 2, staat hier dat de produktiviteitsgroei δ niets anders is dan het gemiddelde van de groei in de factorproductiviteiten, waarbij de factorelasticiteiten van de productie als wegingsfactoren optreden (vergelijk met (3)).

In tabel 3.6 zijn de resultaten van bovenomschreven exercitie vermeld (bron: zie bijlage A). Hierbij valt het volgende op. De gemiddelde produktiviteitsgroei voor de OECD als geheel wijkt niet veel af van de waarde die wij voor Nederland hadden gevonden (nl. 2,2). Daarnaast kan geconstateerd worden dat de produktiviteitsgroei in de 'nieuwe industrielanden' duidelijk hoger is geweest (orde: 5%) en die in Afrika duidelijk lager (orde: iets boven 0%). Dit alles resulteert in een produktiviteitsgroei voor de wereld als geheel in de orde van 1,5%.

Tenslotte bekijken we welke groeicijfers het CPB hanteert in de vier onderscheiden scenario's van zijn recente toekomstverkenning 'Scanning the Future' (CPB, 1992a). In tabel 3.7 zijn deze groeicijfers vermeld, waarbij de (impliciet) gehanteerde produktiviteitsgroei δ (ofwel de gemiddelde groei in de factorproduktiviteiten) weer berekend is m.b.v. (13) met een waarde voor de energie-elasticiteit van de produktie van 0,21.

Uit de tabel blijkt dat het CPB voor de wereld als geheel van een produktiviteitsgroei uitgaat die redelijk aansluit bij de historische groei van ongeveer 1,5% over de afgelopen twintig jaar: twee scenario's zitten rond deze 1,5%, één hier 1%-punt boven en één hier 1%-punt beneden. Voor de industrielanden is het CPB t.o.v. het verleden iets pessimistischer: twee scenario's zitten rond het historische gemiddelde van iets boven de 2%, de andere twee zitten hier echter beiden onder.

Tabel 3.6 Historische groeicijfers van produktiviteiten.

| regio | periode | bevolkinge- prod. | energie- prod. | gemiddelde prod. |
|-----------------------------|-----------|----------------------|-------------------|---------------------|
| OECD | 1960-1969 | 3,9 | -0,1 | 3,1 |
| | 1970-1979 | 2,2 | 1,0 | 1,9 |
| | 1980-1989 | 2,2 | 2,1 | 2,2 |
| Oost-Europa en GOS | 1970-1979 | 4,4 | 3,2 | 4,1 |
| | 1980-1989 | 2,0 | 2,9 | 2,2 |
| Nieuwe Industrie- landen | 1960-1969 | 6,3 | -3,5 | 4,2 |
| | 1970-1979 | 6,6 | 0,2 | 5,3 |
| | 1980-1989 | 6,3 | 1,6 | 5,3 |
| Overig Azië | 1970-1979 | 3,0 | -2,4 | 1,9 |
| | 1980-1989 | 2,6 | -7,6 | 0,5 |
| Afrika | 1970-1979 | 1,2 | -0,7 | 0,8 |
| | 1980-1989 | 0,1 | -1,8 | -0,3 |
| Latijne-Amerika | 1970-1979 | 2,9 | 1,3 | 2,6 |
| | 1980-1989 | -1,0 | -0,3 | -0,9 |
| | | | | |
| Wereld | 1970-1979 | 1,6 | 1,5 | 1,6 |
| | 1980-1989 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |

Tabel 3.7 Groeicijfers van produktiviteiten volgens CPB-scenario's.

| scenario | regio | bevolk. prod. | energie-prod. | gemidd. prod. |
|----------------------|---------------------|---------------|---------------|---------------|
| Global Shift | Industrielanden | 1,3 | -0,5 | 0,9 |
| | Oost-Europa en GOS | -0,3 | 0,7 | -0,1 |
| | Ontwikkelingslanden | 2,6 | -0,9 | 1,9 |
| | Wereld | 1,9 | 1,0 | 1,7 |
| European Renaissance | Industrielanden | 2,2 | 1,7 | 2,1 |
| | Oost-Europa en GOS | 1,8 | 2,7 | 2,0 |
| | Ontwikkelingslanden | 2,2 | 0,4 | 1,8 |
| | Wereld | 1,4 | 1,1 | 1,3 |
| Global Crisis | Industrielanden | 1,6 | 1,1 | 1,5 |
| | Oost-Europa en GOS | -0,9 | 0,1 | -0,7 |
| | Ontwikkelingslanden | 1,5 | 0,0 | 1,2 |
| | Wereld | 0,6 | 0,5 | 0,6 |
| Balanced Growth | Industrielanden | 2,3 | 3,0 | 2,4 |
| | Oost-Europa en GOS | 2,2 | 3,7 | 2,5 |
| | Ontwikkelingslanden | 3,8 | 2,5 | 3,5 |
| | Wereld | 2,4 | 2,6 | 2,4 |

Implicaties van de waarde van de energie-elasticiteit η

In een vorige subparagraaf vonden wij voor Nederland een waarde voor de energie-elasticiteit van de produktie η van $0,21 \pm 0,05$. Uitgaande van winstmaximalisatie en/of kostenminimalisatie en deze gevonden energie-elasticiteit, kunnen we dan uitspraken doen over het budgetaandeel dat energie in de totale kosten moet hebben en over de prijselasticiteit van de vraag naar energie die moet gelden. Deze uitspraken blijken niet consistent te zijn met directe empirische waarnemingen van deze grootheden. Geconcludeerd wordt dat deze inconsistenties niet zozeer wijzen op een verkeerde schatting van η , als wel op een te simpele specificatie van de produktiefunctie.

Uit de literatuur is bekend dat - uitgaande van winstmaximalisatie en/of kostenminimalisatie - een producent een zodanige hoeveelheid van een produktiefactor zal gebruiken dat de factorelasticiteit van de produktie gelijk is aan het budgetaandeel dat de produktiefactor heeft in de totale kosten.¹² Voor de energie-elasticiteit van de produktie vonden we de

¹² Dit is als volgt in te zien. Bekend is dat de winst maximaal is, als de marginale kosten van een produktiefactor gelijk zijn aan de marginale opbrengsten van deze produktiefactor. We nemen nu als voorbeeld de produktiefactor energie. De marginale kosten van energie (de extra kosten van een eenheid extra energie) zijn gelijk aan de energieprijz p_E . De marginale opbrengsten zijn gelijk aan de hoeveelheid extra eindprodukt die een eenheid extra energie oplevert, dat is de afgeleide van de produktiefunctie naar energie $f'(E)$, maal de prijs van het eindprodukt p . In formule: $p_E = pf'(E)$. Vermenigvuldigen we deze formule aan beide zijden met een factor $E/pf(E)$, dan krijgen we: $p_E E/pf(E) = (E/f(E))f'(E)$. Aan de linkerzijde van de laatste formule staan nu precies de kosten die de ondernemer maakt voor energie (de prijs van energie maal de hoeveelheid ingezette energie) gedeeld door het totale budget van de onderneming (de hoeveelheid afgezette produkten maal de prijs van deze produkten). Aan de rechterkant van de formule staat de definitie van de energie-elasticiteit van de produktie: de

waarde van $0,21 \pm 0,05$. Derhalve zou het budgetaandeel van energie in de totale kosten 21% moeten bedragen. In werkelijkheid is dit budgetaandeel echter een stuk lager. Voor 1990 bedroegen de energiekosten voor het zakelijk verbruik in Nederland b.v. ± 30 miljard (Stuurgroep REH, 1992, p. 33-34). Dit komt neer op een budgetaandeel van ongeveer 10%.¹³

Voor de geconstateerde inconsistentie zijn grofweg twee verklaringen mogelijk:

- (i) De door ons gehanteerde regressie-analyse levert een te hoge waarde van de energie-elasticiteit η . De werkelijke waarde van η ligt niet rond de 0,2 maar rond de 0,1.¹⁴
- (ii) De kosten die met de inzet van energie gepaard gaan, zijn hoger dan die welke uit de energierekening sec blijken. Binnen ons model uit hoofdstuk 2 valt hierbij dan te denken aan extra milieukosten. Immers, verondersteld is dat de inzet van fossiele energie gepaard gaat met de inzet van de meer omvattende produktiefactor 'milieu', waarvan energie slechts een onderdeel uitmaakt.

Zonder nadere studie is het niet mogelijk aan te geven welke verklaringwijze de meest aannemelijke is.

Een energie-elasticiteit van de produktie van 0,21 houdt uitgaande van winstmaximalisatie een prijselasticiteit van de vraag naar energie in van -1,26, uitgaande van kostenminimalisatie een prijselasticiteit van de vraag naar energie van -0,79.¹⁵ Uit uitgebreid empirisch onderzoek blijkt echter dat deze elasticiteit rond de -0,3 moet liggen (Stuurgroep REH, 1992, pp. 57-66). Het is relatief eenvoudig aan te tonen dat deze inconsistentie eigenlijk alleen opgelost worden door een meer algemene produktiefunctie te hanteren dan de door ons gekozen Cobb-Douglas specificatie.¹⁶

relatieve verandering in de produktie t.g.v. een verandering van de inzet van energie, gedeeld door de relatieve verandering in de inzet van energie.

¹³ Omdat naast energie in onze produktiefunctie alleen arbeid wordt onderscheiden, gaat het bij dit budgetaandeel om het aandeel dat de energiekosten uitmaken van de som van de energiekosten en de arbeidskosten. Deze laatste kosten waren in 1990 ongeveer 270 miljard, exclusief de inkomsten van zelfstandigen (CPB, 1992, tabel M6, p. 49).

¹⁴ In de literatuur worden de parameters van de produktiefunctie vaak geschat via de budgetaandelen (zie b.v. Jorgenson et al., 1987). In dit licht kan de waarde voor η van 0,1 ook gezien worden als een ruwe schatting voor η met een andere methode.

¹⁵ Varian (1992, p. 30 en p. 54).

¹⁶ Als vastgehouden wordt aan een Cobb-Douglas specificatie van de produktiefunctie, is het alleen mogelijk om tot een prijselasticiteit van de vraag naar energie van 0,3 te komen, als we uitgaan van: (i) kostenminimalisatie i.p.v. winstmaximalisatie en (ii) een energie-elasticiteit van de produktie η van 0,7. Uitgangspunt (ii) alleen al is hierbij hoogst discutabel gezien de waarden voor η , die uit de rest van deze paragraaf aannemelijk zijn.

Conclusies

In deze afsluitende subparagraaf wordt geresumeerd welke verschillende waarden voor de parameters van de produktiefunctie in deze paragraaf gevonden zijn. Voorts wordt aangegeven hoe wij hieruit tot een keuze komen voor de parameterwaarden die in het vervolg van deze studie gehanteerd zullen worden.

Met betrekking tot de waarde van de produktiviteitsgroei δ is in hoofdlijnen het volgende gevonden.

- Regressie-analyse voor Nederland over de afgelopen 40 jaar levert een waarde van $2,2 \pm 0,3$.
- Een grovere analyse over de afgelopen 20 à 30 jaar levert een waarde rond de 1,5 voor de wereld als geheel. Overigens geeft deze analyse voor de OECD als geheel een waarde van ongeveer 2, consistent met de regressie-analyse voor Nederland.
- Het CPB hanteert impliciet in zijn toekomstscenario's waarden van rond de 1,5% voor de wereld als geheel.

Op grond hiervan zullen wij in het vervolg voor de produktiviteitsgroei δ een waarde van $2,0 \pm 0,5$ hanteren. Hierbij hebben de volgende overwegingen een rol gespeeld:

- Er is een waarde gekozen dichtbij de waarde van 2,2 uit de regressie-analyse, omdat deze analyse als meest betrouwbaar wordt gezien.
- In het vervolg zullen we de produktiefunctie gebruiken voor toekomstscenario's. Waarden uit het verleden hebben voor de toekomst altijd slechts beperkte geldigheid. Daarom is t.o.v. de regressie-analyse de onzekerheidsmarge opgerekt.
- Tevens liggen door het oprekken van de onzekerheidsmarge alle bovengenoemde waarden voor δ binnen de gehanteerde marge.

Met betrekking tot de waarde van de energie-elasticiteit van de produktie is in hoofdlijnen het volgende gevonden.

- Regressie-analyse voor Nederland over de afgelopen 40 jaar levert een waarde van $0,21 \pm 0,05$.
- Het empirisch gevonden budgetaandeel van energie suggereert (maar niet noodzakelijk) een lagere waarde van rond de 0,1.

Op grond hiervan zullen wij in het vervolg voor de produktiviteitsgroei δ een waarde van $0,21 \pm 0,1$ hanteren. Hierbij hebben de volgende overwegingen een rol gespeeld:

- De waarde van de regressie-analyse is als uitgangspunt genomen, omdat deze analyse als meest betrouwbaar wordt gezien.
- In het vervolg zullen we de produktiefunctie gebruiken voor toekomstscenario's. Waarden uit het verleden hebben voor de toekomst altijd slechts beperkte geldigheid. Daarom is t.o.v. de regressie-analyse de onzekerheidsmarge opgerekt.
- De waarde van 0,1 die door het budgetaandeel van energie wordt gesuggereerd, ligt hiermee vrijwel binnen de gehanteerde marge.

4 Berekeningen

4.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft resultaten van berekeningen met de ontwikkelde produktiefunctie. Ten behoeve van de berekeningen is een eenvoudig rekenmodel gemaakt. Hierin zijn voor drie wereldregio de uitgangspunten - bevolkingsprognose ingevoerd. Verder zijn de uitgangspunten - milieugebruiksruimte en coëfficiënten - zodanig opgenomen dat ze eenvoudig zijn te wijzigen.

Met dit eenvoudige rekenmodel - waarvan de produktiefunctie de kern vormt - zijn verschillende berekeningen gemaakt. Paragraaf 4.2 analyseert in welke mate de mondiale inkomensverschillen kunnen worden verklaard door de ongelijke verdeling van het energiegebruik per hoofd. Op een gelijksoortige wijze is in paragraaf 4.3 berekend hoeveel lager het BNP zou zijn geweest, indien de economische ontwikkeling binnen veronderstelde milieugrenzen had plaatsgevonden. Het resultaat hiervan vormt een indicatie van het zogenoemde 'Groen BNP'. Vervolgens is geanalyseerd of economische groei mogelijk is bij een constante milieudruk (paragraaf 4.4). Verder is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd, om te onderzoeken in welke mate de economische gevolgen van duurzame ontwikkeling afhangen van de gekozen uitgangspunten (paragraaf 4.5). Het gaat hierbij zowel om beleidsuitgangspunten ten aanzien van de veronderstelde duurzaamheidsgrenzen, als ook om aannamen voor de coëfficiënten.

Tot slot van dit hoofdstuk zijn verschillende visies op duurzame ontwikkeling 'doorgerekend' (paragraaf 4.6). Hierdoor ontstaat inzicht in de samenhang tussen bepaalde uitspraken over de relatie tussen duurzame ontwikkeling en economische groei en uitgangspunten die daar - vaak impliciet - achter schuil gaan.

4.2 Analyse mondiale inkomensverschillen

Met de eenvoudige produktiefunctie (9), zoals afgeleid in paragraaf 2.4, is het mogelijk de economische prestaties van de onderscheiden wereldregio nader te analyseren. De huidige produktie per inwoner hangt namelijk af van twee factoren: de stand der techniek (d) en het energiegebruik per inwoner (E/N). De geschreven produktiefunctie laat dit zien:

$$Y/N = d e^{\alpha} (E/N)^{\beta} \quad (14)$$

De afzonderlijke invloed van beide factoren op het huidige produktievolume is eenvoudig te berekenen. Voor de drie wereldregio wordt met data over 1990 (dus $t = 0$) voor Y , N en E (hoofdstuk 3), de stand der techniek berekend. Tabel 4.1 geeft de basisgegevens per wereldregio weer. Zoals bekend is het BNP per inwoner in de OECD-landen veel hoger - 15 maal - dan in de overige landen. Het energiegebruik per inwoner is echter eveneens flink hoger, hetgeen één van de oorzaken is

van de mondiale inkomensverschillen. Tabel 4.2 geeft de gevolgen voor het BNP per inwoner, indien het energiegebruik per hoofd van de wereldbevolking gelijk verdeeld zou zijn.

Tabel 4.1 Drie wereldregio in 1990

| | | OECD-landen | O-Europa en GOS | Overige landen | Totaal |
|------------------------|------------------|-------------|-----------------|----------------|--------|
| Bevolking | miljoen inwoners | 833 | 429 | 4.031 | 5.292 |
| Energiegebruik | miljoen ton olie | 5.015 | 2.517 | 2.245 | 9.777 |
| BNP | miljard \$ 1980 | 10.079 | 1.302 | 3.193 | 14.574 |
| Bevolking | procent | 16 | 8 | 76 | 100 |
| Energiegebruik | procent | 51 | 26 | 23 | 100 |
| BNP | procent | 69 | 9 | 22 | 100 |
| BNP/inwoner | 1.000 \$/inw. | 12,1 | 3,0 | 0,8 | 2,8 |
| | relatief | 15,1 | 3,7 | 1,0 | 3,5 |
| Energiegebruik/inwoner | relatief | 10,8 | 10,5 | 1,0 | |
| Energiegebruik/BNP | relatief | 0,7 | 2,8 | 1,0 | |

Tabel 4.2 Fictief BNP per inwoner bij een veronderstelde gelijke verdeling per hoofd van de wereldbevolking van het huidige energiegebruik

| | OECD-landen | Oost Europa en Gos | Overige landen | Wereld |
|--|-------------|--------------------|----------------|--------|
| BNP 1.000 \$/inwoner | | | | |
| bij $\eta = 0,11$ | 10,6 | 2,7 | 0,9 | 2,6 |
| bij $\eta = 0,21$ | 9,4 | 2,4 | 1,0 | 2,5 |
| bij $\eta = 0,31$ | 8,4 | 2,1 | 1,1 | 2,4 |
| Procentuele verandering ten opzichte van huidig BNP/inw. (tabel 4.1) | | | | |
| bij $\eta = 0,11$ | -12% | -12% | +14% | -6% |
| bij $\eta = 0,21$ | -22% | -22% | +29% | -11% |
| bij $\eta = 0,31$ | -31% | -30% | +45% | -14% |

Uit tabel 4.2 blijkt dat de huidige mondiale inkomensverschillen ten dele samenhangen met het relatief grotere beslag op het wereldmilieu door de industrielanden. Bij een veronderstelde gelijke verdeling van het wereldenergiegebruik zou het inkomensverschil tussen de OECD-landen en de 'Overige landen' een factor 8 à 12 bedragen, in plaats van de huidige factor 15. Het mondiale inkomensverschil zou dan een 15 à 35% kleiner zijn dan momenteel het geval is.

Opvallend in tabel 4.2 is dat het totale wereldinkomen lijkt te dalen bij een gelijke verdeling van het wereldenergiegebruik. Dit is een gevolg van de berekeningen met de produktiefunctie, omdat een groter deel van het

energiegebruik wordt ingezet in regio met een minder ver voortgeschreden stand der techniek. Of dit effect ook werkelijk zal optreden hangt af van de mate waarin technologie wordt overgedragen en van de mogelijkheden van de 'Overige landen' om de huidige achterstand in te lopen.

4.3 Indicatie 'Groen BNP'

Met de ontwikkelde produktiefunctie is op een gelijksoortige wijze als in paragraaf 4.2 te schatten hoe hoog het BNP zou zijn geweest, indien we minder energie hadden gebruikt. Als criterium voor duurzaamheid veronderstellen we een reductie van 60% in het mondiale fossiele energiegebruik, zoals beargumenteerd in paragraaf 3.3. Met alle voorzichtigheid die hoort bij de produktiefunctie en de gebruikte coëfficiënten, is op deze wijze een globale indruk te krijgen van het 'Groene BNP', of in andere woorden: het BNP dat we hadden kunnen behalen zonder de grenzen van natuur en milieu te overschrijden zoals die in de berekening zijn verondersteld.

Voor deze berekening worden twee varianten gemaakt. De eerste geldt bij de huidige verdeling van het wereldenergiegebruik (tabel 4.3). De tweede veronderstelt een gelijke verdeling per inwoner van het mondiale energiegebruik (tabel 4.4).

Tabel 4.3 Fictief BNP per inwoner bij een veronderstelde reductie van het energiegebruik per wereldregio met 60%.

| | OECD-landen | Oost Europa en Gos | Overige landen | Wereld |
|--|-------------|--------------------|----------------|--------|
| BNP 1.000 \$/inwoner | | | | |
| bij $\eta = 0,11$ | 10,9 | 2,7 | 0,7 | 2,5 |
| bij $\eta = 0,21$ | 10,0 | 2,5 | 0,7 | 2,3 |
| bij $\eta = 0,31$ | 9,1 | 2,3 | 0,6 | 2,1 |
| Procentuele verandering ten opzichte van huidig BNP/inw. (tabel 4.1) | | | | |
| bij $\eta = 0,11$ | -10% | -10% | -10% | -10% |
| bij $\eta = 0,21$ | -18% | -18% | -18% | -18% |
| bij $\eta = 0,31$ | -25% | -25% | -25% | -25% |

Tabel 4.4 Fictief BNP per inwoner bij een veronderstelde reductie van het wereld-energiegebruik met 60% en een gelijke verdeling per inwoner

| | OECD-landen | Oost Europa en Gos | Overige landen | Wereld |
|--|-------------|--------------------|----------------|--------|
| BNP 1.000 \$/inwoner | | | | |
| bij $\eta = 0,11$ | 9,6 | 2,4 | 0,8 | 2,3 |
| bij $\eta = 0,21$ | 7,8 | 2,0 | 0,8 | 2,0 |
| bij $\eta = 0,31$ | 6,3 | 1,6 | 0,9 | 1,8 |
| Procentuele verandering ten opzichte van huidig BNP/inw. (tabel 4.1) | | | | |
| bij $\eta = 0,11$ | -21% | -20% | +3% | -15% |
| bij $\eta = 0,21$ | -36% | -35% | +6% | -27% |
| bij $\eta = 0,31$ | -48% | -47% | +9% | -35% |

De tabellen 4.3 en 4.4 laten zien dat zowel het mondiale BNP als dat in de industrielanden flink lager zou zijn geweest bij een economische ontwikkeling binnen de veronderstelde duurzaamheidsgrens. In de OECD-landen zou dit 'Groene BNP' 10 tot bijna 50% lager kunnen liggen dan het officiële, afhankelijk van de veronderstellingen.

4.4 Economische groei bij constante milieudruk

Uit de ontwikkelde produktiefunctie blijkt verder dat economische groei mogelijk is, zonder een toenemende milieudruk. Heijman (1991) heeft dit al eerder aangetoond voor verschillende produktiefuncties. Naast de neo-klassieke Cobb-Douglas functie, heeft hij ook het post-Keynesiaanse groeimodel van Harrod-Domar bestudeerd. Hij komt voor beide tot de conclusie dat duurzame economische groei in beginsel tot de mogelijkheden behoort. Terugkerend tot de produktiefunctie volgens hoofdstuk 2, blijkt bij een constante milieudruk de groei afhankelijk te zijn van het arbeidsvolume en van de technische vooruitgang:

$$Y = d e^{\delta t} N^{1-\eta} \quad (15)$$

Voor de groeivoeten geldt dan:

$$g_Y = \delta + (1-\eta)g_N \quad (16)$$

Bij een autonoom veronderstelde ontwikkeling van het arbeidsvolume wordt de groei bij gelijkblijvende milieudruk bepaald door de produktiviteitsstijging (δ). Wel is 'duurzame groei' lager dan economische groei die geen rekening houdt met het milieu. Het verschil is de term $\eta \times g_E$. Bij een veronderstelde jaarlijkse groei van het energiegebruik met 1,8% (CPB-European Renaissance is 'duurzame groei' 0,2 à 0,5% lager dan bij de aangenomen verdere stijging van het energiegebruik. Voor de industrielanden is de voorziene groei in het energiegebruik lager (ca 1%), zodat 'duurzame groei' voor deze landen 0,1 à 0,3% per jaar lager is dan bij de voorziene trends.

Bij het voorgaande is nog geen rekening gehouden met de bevolkingsgroei. De economie moet immers harder groeien dan de bevolking, om per hoofd een inkomensgroei te bereiken. Formule 17 geeft de groeivoet van het inkomen per hoofd, zoals is afgeleid uit de produktiefunctie:

$$g_{Y/N} = \delta + \eta g_{E/N} \quad (17)$$

Bij een gelijkblijvend energiegebruik ($g_E = 0$) ontstaat de volgende relatie:

$$g_{Y/N} = \delta - \eta g_N \quad (18)$$

Uit deze formule blijkt dat inkomensgroei per hoofd mogelijk is, indien $\delta > \eta g_N$. Omdat η vermoedelijk tussen 0,1 en 0,3 ligt, is inkomensgroei per hoofd waarschijnlijk te realiseren, ondanks de relatief sterke bevolkingsgroei in de 'Overige landen' (1,4% per jaar volgens de middenvariant van de VN-bevolkingsprognose). Dus ook per hoofd van de - groeiende - bevolking is duurzame economische groei waarschijnlijk mogelijk.

Hoewel economische groei binnen vastgestelde milieurandvoorwaarden in beginsel mogelijk is, kan echter een overgangperiode nodig zijn met nulgroei of krimp. Dit zal het geval zijn indien de huidige milieudruk groter is dan de duurzaam toelaatbare. In een dergelijke overgangperiode neemt de inzet van het milieu als produktiefactor - of in de berekeningen het energiegebruik - geleidelijk af. Hierdoor daalt de produktie. Een halvering van het mondiale fossiele energiegebruik en een gelijke verdeling per inwoner, betekent bijvoorbeeld dat de OECD-landen hun energiegebruik met ongeveer 90% moeten terugdringen. Om dit te bereiken is nulgroei nodig gedurende een periode van 10 tot 48 jaar, voordat weer sprake kan zijn van duurzame economische groei. De aangegeven marge in de periode van nulgroei hangt ook nu weer af van de waarden van η en δ .

4.5 Duurzame ontwikkeling: een gevoeligheidsanalyse

Deze paragraaf analyseert, met behulp van de ontwikkelde produktiefunctie, de relatie tussen duurzame ontwikkeling en economische groei gedurende de overgangperiode waarin de milieudruk daalt. Omdat de economische consequenties zowel afhangen van de milieurandvoorwaarden behorende bij duurzame ontwikkeling, als van de schatting van de produktiviteitsgroei en vooral van de energie-elasticiteit, is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Op basis van het voorliggende onderzoek is het namelijk niet mogelijk nauwkeurige waarden voor deze parameters vast te stellen. Op deze wijze ontstaat een bandbreedte van de mogelijke economische gevolgen van duurzame ontwikkeling. Tevens ontstaat inzicht in de belangrijkste invloeden op deze consequenties.

De werkwijze is als volgt geweest. Als eerste is een referentiep pad voor de economische ontwikkeling opgesteld. Dit is op te vatten als de ontwikkeling bij ongewijzigd beleid en is dus geen variant van duurzame ontwikkeling. Hierbij is aansluiting gezocht bij de CPB-scenario's uit 'Scanning the Future' (CPB, 1992a). Vervolgens is een basisvariant voor duurzame ontwikkeling samengesteld. Hiervoor zijn stringente veronder-

stellingen voor duurzaamheid gehanteerd - mondiaal fossiel energiegebruik daalt tot 40% en een gelijke verdeling hiervan per wereldburger. Verder zijn de middenwaarden van de coëfficiënten gebruikt: $\delta = 2\%$ per jaar en $\eta = 0,21$.

Tot slot is de gevoeligheid van de uitkomsten voor alle aannamen onderzocht. De invloed hiervan is weergegeven ten opzichte van de basisvariant.

Tabel 4.5 geeft de kerngegevens van het referentiep pad weer en tabel 4.6 van de basisvariant. In bijlage B zijn de berekeningsresultaten in meer detail opgenomen.

In het referentiep pad groeit het mondiale energiegebruik met 125% in de komende 45 jaar. Dit is een jaarlijkse stijging met 1,8%. De mondiale verdeling van het energiegebruik wordt minder ongelijk. Verder zijn de middenwaarden van de coëfficiënten δ en η aangehouden. Met deze uitgangspunten is via de produktiefunctie de economische ontwikkeling berekend. De jaarlijkse inkomensgroei per hoofd in de industrielanden is ongeveer 2,1% (overeenkomend met het CPB-scenario 'European Renaissance'). De energieproduktiviteit in de rijke landen neemt jaarlijks met 1,5% toe. Het BNP in de OECD-landen verdrievoudigd bijna in de komende 45 jaar.

In de 'Overige landen' is de inkomensgroei per hoofd wat groter, als gevolg van een sterkere groei in het energiegebruik.

De ontwikkeling van de landen van Oost-Europa en het GOS is enigszins kunstmatig in het referentiep pad aangebracht, door een lager aandeel in het wereldenergiegebruik te veronderstellen. In werkelijkheid ligt de relatie juist andersom: door een matige economische ontwikkeling stagneert de vraag naar energie. Per saldo is het referentiep pad voor Oost-Europa en het GOS wat betreft de inkomensontwikkeling aanzienlijk gunstiger dan drie van de vier CPB-scenario's. Alléén het scenario 'Balanced Growth' komt uit op een nog iets hogere inkomensgroei per hoofd.

Tabel 4.5 Kerngegevens referentiepadi

| Uitgangspunten | | | |
|---|--------------------|----------|------------------------------------|
| Periode vanaf 1990: | 45 jaar | | |
| Bevolkingsgroei: | midden prognose | | |
| Wereldenergiegebruik: | 225% | | |
| Verdeling energiegebruik per inwoner | | | |
| OECD/Overige landen: | 5 (nu factor 10,8) | | |
| Oost-Europa en GOS/Overige landen: | 3 (nu factor 10,6) | | |
| Produktiviteitsgroei (δ) | | | |
| OECD: | 2% per jaar | | |
| Oost-Europa, GOS en Overige landen: | 2% per jaar | | |
| Energie-elasticiteit van de productie (η): | 0,21 | | |
| Resultaten | | | |
| Relatieve veranderingen in de betreffende periode | | | |
| <i>BNP</i> | Totaal | Per jaar | Arbeidsproductiviteit ¹ |
| OECD | 193% | 2,4%/jr | 2,1%/jr |
| Oost-Europa en GOS | 187% | 2,4%/jr | 1,9%/jr |
| Overige landen | 477% | 4,0%/jr | 2,5%/jr |
| Wereld | 255% | 2,8%/jr | 1,6%/jr |
| <i>Energiegebruik</i> | Totaal | Per jaar | Energieproductiviteit |
| OECD | 49% | 0,9%/jr | 1,5%/jr |
| Oost-Europa en GOS | 0% | 0,0%/jr | 2,3%/jr |
| Overige landen | 418% | 3,7%/jr | 0,2%/jr |
| Wereld | 125% | 1,8%/jr | 1,0%/jr |

¹ Dit is gelijk aan de jaarlijkse inkomensgroei per hoofd.

In de basisvariant zijn slechts twee uitgangspunten gewijzigd ten opzichte van het referentiepadi. Het wereldenergiegebruik daalt met 60% , in plaats van 125% groei; het energiegebruik wordt gelijk verdeeld per wereldburger. Gevolg hiervan is dat het energiegebruik in de OECD-landen met ruim 90% afneemt. Bij de gemaakte veronderstellingen zakt hierdoor de jaarlijkse inkomensgroei per hoofd naar 0,8%, ten opzichte van 2,1% per jaar in het referentiepadi. Verder neemt de energieproductiviteit jaarlijks met 6,6% toe. Ook in de 'Overige landen' is de inkomensgroei lager dan in het referentiepadi: 1,9% versus 2,5% per jaar. De consequenties zijn hier echter minder vanwege de veronderstelde herverdeling van het mondiale energiegebruik. Hierdoor daalt het verschil in inkomen per hoofd in de 'Overige landen' ten opzichte van de OECD tot een factor 9 (nu: 15).

Tabel 4.6 Kerngegevens basisvariant

| Uitgangspunten | | | |
|---|--------------------|----------|------------------------------------|
| Periode vanaf 1990: | 45 jaar | | |
| Bevolkingsgroei: | midden prognose | | |
| Wereldenergiegebruik: | 40% | | |
| Verdeling energiegebruik per inwoner | | | |
| OECD/Overige landen: | 1 (nu factor 10,8) | | |
| Oost-Europa en GOS/Overige landen: | 1 (nu factor 10,6) | | |
| Productiviteitsgroei (δ) | | | |
| OECD: | 2% per jaar | | |
| Oost-Europa, GOS en Overige landen: | 2% per jaar | | |
| Energie-elasticiteit van de productie (η): | 0,21 | | |
| Resultaten | | | |
| Relatieve veranderingen in de betreffende periode | | | |
| <i>BNP</i> | Totaal | Per jaar | Arbeideproductiviteit ¹ |
| OECD | 59% | 1,0%/jr | 0,8%/jr |
| Oost-Europa en GOS | 73% | 1,2%/jr | 0,8%/jr |
| Overige landen | 338% | 3,3%/jr | 1,9%/jr |
| Wereld | 121% | 1,8%/jr | 0,6%/jr |
| <i>Energiegebruik</i> | Totaal | Per jaar | Energieproductiviteit |
| OECD | -92% | -5,4%/jr | 6,6%/jr |
| Oost-Europa en GOS | -91% | -5,2%/jr | 6,6%/jr |
| Overige landen | 40% | 0,8%/jr | 2,5%/jr |
| Wereld | -60% | -2,0%/jr | 3,8%/jr |

¹ Dit is gelijk aan de jaarlijkse inkomensgroei per hoofd.

De hiervoor geschetste consequenties hebben alléén betrekking op de overgangperiode naar duurzame ontwikkeling van 45 jaar - of één generatie - waarin de milieubelasting in de industrielanden afneemt. Na deze periode is duurzame economische groei mogelijk, zoals beschreven in paragraaf 4.4. De economische consequenties hiervan zijn minder groot dan die in de overgangperiode.

Vervolgens is voor de basisvariant een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Doel hiervan is om inzicht te krijgen in het belang van onzekerheden in de gehanteerde coëfficiënten. Ten tweede ontstaat een indruk van de mate waarin de economische gevolgen worden beïnvloed door beleids-uitgangspunten, zoals voor bevolkingsgroei, het toelaatbare mondiale energiegebruik en de verdeling hiervan.

De resultaten van de gevoeligheidsanalyse worden gepresenteerd als afwijkingen ten opzichte van de basisvariant (zie tabel 4.7). Voor de overzichtelijkheid zijn slechts vijf belangrijke grootheden weergegeven:

- jaarlijkse groei van de arbeidsproductiviteit in de OECD-landen en de ontwikkelingslanden (overige landen). Dit is gelijk aan de jaarlijkse inkomensgroei - of daling - per hoofd van de bevolking;
- jaarlijkse groei van de energieproductiviteit in beide groepen landen. Dit geeft inzicht in de technische ontwikkeling, die nodig is om het energiegebruik terug te dringen. Als referentie hierbij kan de Nota Energiebesparing (1990) dienen, die voor de periode 1990-2000 streeft naar een jaarlijkse verhoging van de energieproductiviteit met 2%. In de basisvariant dient deze productiviteit met 6,6% per jaar te stijgen in de OECD-landen (tabel 4.6);
- het inkomen per hoofd van de bevolking in de overige landen, als percentage van dat in de OECD-landen. Dit geeft een beeld van de mondiale inkomensverschillen. Momenteel is het gemiddelde inkomen in de arme landen 7% van dat in de rijke. In de basisvariant is dit percentage opgelopen tot 11.

Tabel 4.7 Resultaten gevoeligheidsanalyse

| | Inkomen per inwoner | | | Energieproductiviteit | |
|---|---------------------|----------|--------------------------|-----------------------|----------|
| | OECD | Overig | Overig t.o.v. OECD | OECD | Overig |
| <i>Basisvariant</i> | +0,8%/jr | +1,9%/jr | 11% | +6,6%/jr | +2,5%/jr |
| <i>Overgangperiode</i> - 60 jaar i.p.v. 45 | +0,3 | 0 | 0 | -1,0 | 0 |
| <i>Bevolkingsgroei</i> - hoge prognose | -0,1 | -0,1 | 0 | +0,3 | +0,3 |
| - lage prognose | +0,1 | +0,1 | 0 | -0,3 | -0,3 |
| - géén | +0,3 | +0,3 | 0 | -1,0 | -1,0 |
| <i>Wereldenergiegebruik</i> - huidig niveau i.p.v. 60% reductie | +0,4 | +0,4 | 0 | -1,6 | -1,6 |
| <i>Verdeling energiegebruik</i> - conform referentiepad | +0,6 | -0,2 | -3 | -2,1 | +0,4 |
| <i>Productiviteitsgroei (δ)</i> - 2,5%/jr | +0,5 | +0,5 | 0 | +0,5 | +0,5 |
| - 1,5%/jr | -0,5 | -0,5 | 0 | -0,5 | -0,5 |
| - alléén OECD 1,5%/jr | -0,5 | 0 | +2 | -0,5 | 0 |
| <i>Energie-elasticiteit (η)</i> - 0,11 | +0,6 | +0,1 | -3 | +0,6 | +0,1 |
| - 0,31 | -0,6 | -0,1 | +2 | -0,6 | -0,1 |

Afwijkingen ten opzichte van de basisvariant.

Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat de omvang en de verdeling van het wereldenergiegebruik, alsook de waarden van de coëfficiënten δ en η grote invloed hebben op de berekeningsresultaten. De eerste factor is in belangrijke mate een beleidsmatig uitgangspunt: wat verstaan we onder duurzame ontwikkeling? of: welke grenzen stellen we aan het milieugebruik?

De invloed van de coëfficiënten δ en η weerspiegelt de vrij grote onzekerheidsmarge in de berekeningsresultaten, zoals dat tot op zekere hoogte het geval is bij iedere toekomstverkenning (zie verder hoofdstuk 5). Voor de inkomensgroei per hoofd in de OECD-landen geldt hierdoor een marge van $\pm 1,1\%$ per jaar.

De relatief geringe invloed van de bevolkingsgroei lijkt in eerste instantie verrassend. De groei van de wereldbevolking tot 2050 bedraagt echter 'slechts' 50 à 140% (respectievelijk lage en hoge prognose van de VN).

Terwijl het wereldenergiegebruik in de basisvariant een factor 5,6 lager is dan in het referentiep pad. Ook de mondiale verdeling tussen basis en referentie scheelt een factor 5. Deze verschillen zijn groter dan de totale bevolkingsgroei tot 2050. Na dit jaar zal de invloed van de bevolkingsgroei relatief groter worden. Voor het jaar 2100 bedraagt het verschil tussen de hoogste en laagste variant van de VN-prognoses een factor 3,2 (UN, 1992). De verschillen nemen daarna verder toe, tot een factor 6,5 in het jaar 2150. Hoewel dit natuurlijk grote invloed kan hebben op de milieubelasting, blijft de consequentie voor de jaarlijkse inkomensgroei beperkt tot 1 à 1,5%, bij een veronderstelde constante milieudruk. De invloed van de bevolkingsgroei ligt dan in dezelfde orde van grootte als de invloed van beleidsmatige uitgangspunten, zoals de aanvaardbare omvang van het wereldenergiegebruik en de mondiale verdeling ervan. Overigens was bij de ontwikkeling van vier energiewaarscenario's - in een eerdere studie van ons bureau - ook al gebleken dat de verschillen tussen de onderscheiden scenario's groter zijn, dan die tussen varianten voor de bevolkingsontwikkeling per scenario (Van den Haspel e.a., 1992).

4.6 Visies op duurzame ontwikkeling

In de vorige paragraaf is gebleken dat de economische consequenties van duurzame ontwikkeling nogal sterk afhangen van de beleidsmatige uitgangspunten over duurzaamheid en van de inschatting van de produktiviteitsgroei en vooral van de energie-elasticiteit. Op basis van dergelijke verschillen in uitgangspunten ontstaan verschillende visies op de economische gevolgen van duurzame ontwikkeling. Die visies zijn ook herkenbaar in het maatschappelijk debat over duurzame ontwikkeling. De voorliggende paragraaf wil op schematische wijze proberen die verschillende visies in beeld te brengen en te herleiden tot de eraan ten grondslag liggende uitgangspunten.

Vier verschillende visies worden onderscheiden:

- a strikte duurzaamheid;
- b maatschappelijk optimistisch;
- c technisch optimistisch;
- d technisch pessimistisch.

De eerste twee visies verschillen in hun beleidsuitgangspunten en hanteren de middenwaarden voor de coëfficiënten. De laatste twee gaan uit van strikte duurzaamheidsgrenzen en verschillen in hun verwachtingen ten aanzien van de technische ontwikkeling.

Visie a sluit direct aan bij de huidige wetenschappelijke inzichten (Weterings en Opschoor, 1992; Nota Klimaatverandering) en bij de opvattingen van de milieubeweging, zoals bijvoorbeeld verwoord in het Actieplan Nederland Duurzaam van Milieudefensie (Buitenkamp e.a., 1992). In deze visie moet de CO₂-uitstoot in de industrielanden met 90% verminderen. De basisvariant (tabel 4.6) komt overeen met deze uitgangspunten. Gevolg hiervan is dat de inkomensgroei per hoofd in het westen gedurende 45 jaar ongeveer tweederde lager is dan in het referentiep pad.

De maatschappelijk optimistische visie b (zie tabel 4.8) heeft als kenmerken dat het wereldenergiegebruik de komende 60 jaar nog kan verdubbelen - 1,2% groei per jaar tegen 1,8% in het referentiep pad - en dat dan de ongelijkheid in het wereldenergiegebruik per inwoner is gehalveerd ten opzichte van het referentiep ad. Er kunnen meerdere redenen zijn om deze uitgangspunten te hanteren. Zo zouden de milieu-problemen minder ernstig kunnen zijn, dan in overeenstemming met de huidige wetenschappelijke inzichten wordt aangenomen. Verder kan men een periode van 45 jaar te kort vinden voor een structurele om-bouw van de economie naar een duurzame ontwikkeling. Consequentie van deze maatschappelijk optimistische visie is dat de economische groei in de industrielanden slechts 0,25% per jaar lager is dan in het referentiep ad. Voor de 'Overige landen' bedraagt de groeivertraging maar 0,1%. De inkomensongelijkheid in de wereld verandert echter nauwelijks.

Tabel 4.8 Kerngegevens visie b 'Maatschappelijk optimistisch'

| Uitgangspunten | | | |
|---|----------------------|----------|------------------------------------|
| Periode vanaf 1990: | 60 jaar | | |
| Bevolkingsgroei: | midden prognose | | |
| Wereldenergiegebruik: | 200% | | |
| Verdeling energiegebruik per inwoner | | | |
| OECD/Overige landen: | 2,5 (nu factor 10,8) | | |
| Oost-Europa en GOS/Overige landen: | 1,5 (nu factor 10,6) | | |
| Productiviteitsgroei (δ) | | | |
| OECD: | 2% per jaar | | |
| Oost-Europa, GOS en Overige landen: | 2% per jaar | | |
| Energie-elasticiteit van de productie (η): | 0,21 | | |
| Resultaten | | | |
| Relatieve veranderingen in de betreffende periode | | | |
| <i>BNP</i> | Totaal | Per jaar | Arbeidsproductiviteit ¹ |
| OECD | 245% | 2,1%/jr | 1,9%/jr |
| Oost-Europa en GOS | 255% | 2,1%/jr | 1,7%/jr |
| Overige landen | 778% | 3,7%/jr | 2,4%/jr |
| Wereld | 363% | 2,6%/jr | 1,5%/jr |
| <i>Energiegebruik</i> | Totaal | Per jaar | Energieproductiviteit |
| OECD | -21% | -0,4%/jr | 2,5%/jr |
| Oost-Europa en GOS | -45% | -1,0%/jr | 3,1%/jr |
| Overige landen | 510% | 3,1%/jr | 0,6%/jr |
| Wereld | 100% | 1,2%/jr | 1,4%/jr |

¹ Dit is gelijk aan de jaarlijkse inkomensgroei per hoofd.

Voor de technisch optimistische visie c (zie tabel 4.9) gelden dezelfde strikte uitgangspunten voor duurzaamheid als in visie a. De inschatting

van de produktiviteitsgroei en de energie-elasticiteit is echter optimistischer. De economische consequenties zijn vrijwel gelijk aan die in visie b. Cruciaal verschil is echter dat hier negatieve gevolgen voor de economische groei worden vermeden door een zeer sterke verhoging van de energieproductiviteit met bijna 8% per jaar in de OECD-landen. Een dergelijke sterke en langdurige stijging van de energieproductiviteit is historisch ongekend. Ook in het in dit opzicht meest optimistische CPB-scenario - Balanced Growth - verbetert de energieproductiviteit 'maar' met 3% per jaar. Verder heeft het huidige energiebeleid tot doel de energieproductiviteit jaarlijks met 2% te verhogen. Het historisch verloop van de arbeidsproductiviteit geeft evenmin aanleiding een dergelijk sterke verbetering aannemelijk te achten.

Een tweede kanttekening bij de resultaten van visie c is, dat de veronderstelde produktiviteitsgroei hoger is dan in het referentiepad. Bij gelijke aannamen hierover zou de groeivertraging 0,5% per jaar groter zijn.

Tabel 4.9 Kerngegevens visie c 'Technisch optimistisch'

| Uitgangspunten | | | |
|---|-----------------------|----------|------------------------------------|
| Periode vanaf 1990: | 45 jaar | | |
| Bevolkingsgroei: | midden prognose | | |
| Wereldenergiegebruik: | 40% van huidig niveau | | |
| Verdeling energiegebruik per inwoner | | | |
| OECD/Overige landen: | 1 (nu factor 10,8) | | |
| Oost-Europa en GOS/Overige landen: | 1 (nu factor 10,6) | | |
| Productiviteitsgroei (δ) | | | |
| OECD: | 2,5% per jaar | | |
| Oost-Europa, GOS en Overige landen: | 2,5% per jaar | | |
| Energie-elasticiteit van de productie (η): | 0,11 | | |
| Resultaten | | | |
| Relatieve veranderingen in de betreffende periode | | | |
| <i>BNP</i> | Totaal | Per jaar | Arbeidsproductiviteit ¹ |
| OECD | 159% | 2,1%/jr | 1,9%/jr |
| Oost-Europa en GOS | 182% | 2,3%/jr | 1,9%/jr |
| Overige landen | 466% | 3,9%/jr | 2,4%/jr |
| Wereld | 228% | 2,7%/jr | 1,4%/jr |
| <i>Energiegebruik</i> | Totaal | Per jaar | Energieproductiviteit |
| OECD | -92% | -5,4%/jr | 7,7%/jr |
| Oost-Europa en GOS | -91% | -5,2%/jr | 7,6%/jr |
| Overige landen | 40% | 0,8%/jr | 3,1%/jr |
| Wereld | -60% | -2,0%/jr | 4,7%/jr |

¹ Dit is gelijk aan de jaarlijkse inkomensgroei per hoofd.

Tot slot gaat visie d uit van pessimistische veronderstellingen over de technische ontwikkeling (tabel 4.10). De economische consequenties hiervan zijn groot. In de industrielanden vindt geen economische groei meer plaats en treedt zelfs een lichte daling van het inkomen per hoofd op. De economische ontwikkeling is volledig gericht op verhoging van de energieproduktiviteit - met 5,5% per jaar - om aan de strikte milieuvanvoorwaarden te gaan voldoen.

In de 'Overige landen' zakt de inkomensgroei per hoofd naar 1,3% per jaar, ten opzichte van 1,9% in het referentiep pad.

Hierbij geldt echter, evenals bij visie c, dat de veronderstelling voor de produktiviteitsgroei in het referentiep ad afwijkt van die in visie d. Bij een gelijke produktiviteitsgroei zou het verschil in inkomensgroei per hoofd tussen het referentiep ad en visie d 0,5% per jaar minder zijn.

Tabel 4.10 Kerngegevens d 'Technisch pessimistisch'

| Uitgangspunten | | | |
|---|-----------------------|----------|-----------------------|
| Periode vanaf 1990: | 45 jaar | | |
| Bevolkingsgroei: | midden prognose | | |
| Wereldenergiegebruik: | 40% van huidig niveau | | |
| Verdeling energiegebruik per inwoner OECD/Overige landen: | 1 (nu factor 10,8) | | |
| Oost-Europa en GOS/Overige landen: | 1 (nu factor 10,6) | | |
| Produktiviteitsgroei (δ) | | | |
| OECD: | 1,5% per jaar | | |
| Oost-Europa, GOS en Overige landen: | 1,5% per jaar | | |
| Energie-elasticiteit van de produktie (η): | 0,31 | | |
| Resultaten | | | |
| Relatieve veranderingen in de betreffende periode | | | |
| <i>BNP</i> | Totaal | Per jaar | Arbeidsproduktiviteit |
| OECD | -2% | -0,1%/jr | -0,3%/jr |
| Oost-Europa en GOS | 7% | 0,1%/jr | -0,3%/jr |
| Overige landen | 240% | 2,7%/jr | 1,3%/jr |
| Wereld | 51% | 0,9%/jr | -0,3%/jr |
| <i>Energiegebruik</i> | Totaal | Per jaar | Energieproduktiviteit |
| OECD | -92% | -5,4%/jr | 5,5%/jr |
| Oost-Europa en GOS | -91% | -5,2%/jr | 5,5%/jr |
| Overige landen | 40% | 0,8%/jr | 2,0%/jr |
| Wereld | 60% | -2,0%/jr | 3,0%/jr |

¹ Dit is gelijk aan de jaarlijkse inkomensgroei per hoofd.

Tot slot van deze paragraaf worden enkele belangrijke resultaten van de vier gepresenteerde visies op duurzame ontwikkeling vergeleken met het referentiep ad. Dit gebeurt in tabel 4.11.

Tabel 4.11 Visies op duurzame ontwikkeling

| | Inkomen per inwoner | | | Energieproductiviteit | |
|--|---------------------|---------------------|---------------------------------|-----------------------|---------------------|
| | OECD ^a | Overig ^a | Overig t.o.v. OECD ^a | OECD ^a | Overig ^a |
| <i>Referentiep pad</i> | 2,1%/jr | 2,5%/jr | 8% | 1,5%/jr | 0,2%/jr |
| <i>Duurzame ontwikkeling</i> | | | | | |
| Visie a 'Strikte duurzaamheid' | 0,8 | 1,9 | 11 | 6,6 | 2,5 |
| Visie b 'Maatschappelijk optimistisch' | 1,9 | 2,4 | 9 | 2,5 | 0,6 |
| Visie c 'Technisch optimistisch' | 1,9 | 2,4 | 8 | 7,7 | 3,1 |
| Visie d 'Technisch pessimistisch' | -0,3 | 1,3 | 13 | 5,5 | 2,0 |

^a jaarlijkse groei ten opzichte van de uitgangssituatie

^b procentuele verhouding in het eindjaar

Tabel 4.11 laat zien dat voor het bereiken van een duurzame ontwikkeling volgens de strikte opvattingen - visie a, c en d - een ongekennd sterke verhoging van de energieproductiviteit in de OECD-landen nodig is: van 5,5 tot 7,7% per jaar. Alléén bij verruiming van de milieurandvoorwaarden ligt de energieproductiviteitsstijging in de buurt van waarden die nu beleidsmatig worden nagestreefd.

Verder blijkt de invloed op de economische groei in het westen sterk af te hangen van de uitgangspunten. De inkomensgroei per hoofd is 0,2 á 2,4% per jaar lager dan in het referentiep ad. Deze marge lijkt een goede weerspiegeling te zijn van bestaande opvattingen over dit onderwerp, uitlopend van: 'Duurzame ontwikkeling heeft nauwelijks negatieve gevolgen voor de economische groei', tot : 'Nulgroei of zelfs krimp is onvermijdelijk indien we de milieudoelen willen halen'.

Bij strikte milieurandvoorwaarden en een veronderstelde gelijke produktiviteitsgroei in het referentiep ad en de betreffende visie - dus consistente uitgangspunten - bedraagt de groeivertraging 0,7 á 1,9% per jaar, afhankelijk van de waarde van de energie-elasticiteit. Dit is een sterkere groeivertraging dan volgens de schatting van het CPB (1992a), die op ¼ á ½% groeivertraging per jaar uitkomt. Het is echter mogelijk dat het CPB bij deze schatting uit is gegaan van minder stringente milieurandvoorwaarden, hetgeen het verschil met het CPB kan verklaren.

Verder valt op uit het overzicht van tabel 4.11, dat de mondiale inkomensverschillen in geen van de gepresenteerde visies sterk verminderen. Dit ondanks dat in drie van de vier visies het energiegebruik gelijk is verdeeld over alle wereldburgers.

De inkomensgroei per hoofd in de zuidelijke landen is maximaal 2,5% per jaar. Dit is te gering om de ergste armoede te voorkomen volgens het criterium van de Commissie Brundtland (WCED, 1987) van 4 á 5% per jaar. Alléén bij technische optimistische veronderstellingen in combinatie met een groter toelaatbaar energiegebruik voor de 'Overige landen' is volgens de gehanteerde produktiefunctie een inkomensgroei per hoofd in de Derde Wereld te bereiken, die in de buurt ligt van hetgeen de WCED noodzakelijk vindt.

5 Evaluatie, conclusies en aanbevelingen

5.1 Inleiding

Het slothoofdstuk van deze voorstudie maakt de balans op van het verkregen resultaat (paragraaf 5.2). Mede op basis hiervan volgen conclusies (paragraaf 5.3) en aanbeveling voor vervolgonderzoek (paragraaf 5.4)

5.2 Evaluatie

De ontwikkelde produktiefunctie legt een zeer eenvoudig en inzichtelijk verband tussen de beschikbare milieugebruiksruimte en de economische produktie. Voordeel van deze doorzichtige benadering is dat een ingewikkelde maatschappelijke en politieke discussie over dit onderwerp - veelal gedomineerd door 'deskundigen' - voor meer mensen enigszins toegankelijk kan worden. Naar onze mening is de onderbouwing van de opgestelde Cobb-Douglas produktiefunctie voldoende om een betrouwbaar inzicht te krijgen in de belangrijkste mechanismen die de relatie tussen milieugebruik en economische groei bepalen. De functie sluit immers direct aan bij de neo-klassieke economische theorie en het is zeer plausibel om het milieu hierin als produktiefactor op te nemen. Ook het weglaten van de factor 'kapitaal' is geen belangrijke handicap. Nu is verondersteld dat de kapitaalgoederenvoorraad gelijke tred houdt met de economische groei, zoals in het verleden ook ongeveer het geval was. De invloed van de factor 'kapitaal' is vooral belangrijk bij het bestuderen van conjuncturele schommelingen op de wat kortere termijn. Deze zouden bijvoorbeeld op kunnen treden bij een abrupte overgang van het huidige groeipad naar een duurzame ontwikkeling.

De kracht van de eenvoud van de produktiefunctie is echter tegelijkertijd de zwakte. Deze is natuurlijk een zeer sterke vereenvoudiging van de complexe economische werkelijkheid. Vooral achter de coëfficiënten voor de produktiviteitsgroei (δ) en de energie-elasticiteit (η), gaat een hele wereld schuil. De interpretatie naar de economische en fysieke werkelijkheid is nauwelijks te leggen. Als voorbeeld hiervan noemen we de sterke verbetering van de energieproduktiviteit die nodig is om aan strikte duurzaamheidscriteria te voldoen - in de orde van 6% per jaar. Dit kan worden bereikt door:

- efficiëntere technieken te gaan gebruiken;
- gebruik te maken van 'schone' en duurzame energie;
- een verschuiving in produktiestructuur en consumptiepatroon naar activiteiten en produkten die minder energie nodig hebben (en bijvoorbeeld meer arbeidsuren);
- gedragsveranderingen, zoals een lagere kamertemperatuur en minder autorijden.

Welke veranderingen in welke mate optreden is niet aan te geven.

Verder zijn ook de impliciete veronderstellingen behorende bij de produktiefunctie niet volledig in overeenstemming met de werkelijkheid. Bijvoorbeeld het neo-klassieke uitgangspunt dat alle markten in evenwicht zijn (en er dus geen structurele werkeloosheid bestaat). Ook de veronderstelde volledige substitutie tussen de produktiefactoren zal in de praktijk pas op langere termijn benaderd kunnen worden. Verder zijn de produktiviteitsgroei en de energie-elasticiteit constant in de tijd. Het is echter goed mogelijk dat de energie-elasticiteit groter wordt bij een sterke reductie van de milieubelasting. Hiernaast besteedt de groeitheorie aandacht aan mogelijkheden om de produktiviteitsgroei te verhogen, bijvoorbeeld door onderwijs, organisatie en infrastructuur. Aan deze beperkingen kan ten dele worden tegemoetgekomen door een ingewikkelder produktiefunctie te gebruiken (zie ook de aanbevelingen). Verder komt het gebruik van macro-economische modellen natuurlijk in aanmerking. De inzichtelijkheid verdwijnt dan echter.

Bij het schatten van de coëfficiënten van de produktiefunctie doen zich nog enkele belangrijke problemen voor.

De eerste is het fundamentele probleem dat de coëfficiënten grotendeels zijn bepaald op basis van historische gegevens. Zullen deze relaties echter ook in de toekomst gelden? En nog na een koerswijziging richting duurzame ontwikkeling? Deze moeilijkheid is niet goed te overwinnen en hoort in wezen bij ieder onderzoek naar de toekomst. De aannemelijkheid van de gebruikte coëfficiënten is iets vergroot door ook gebruik te maken van prognoses van het CPB (1992 a en b).

Een tweede belangrijk probleem bij het schatten van de coëfficiënten ligt in de aanname dat het verbruik van fossiele brandstoffen een goede maat is voor de totale milieubelasting. Het is zonder nader onderzoek niet duidelijk of dit redelijk klopte voor de afgelopen 40 jaar waarvoor de regressie-analyse is gemaakt (paragraaf 3.5). Nog minder duidelijk is of deze aanname ook voor de toekomst geldt. Door toepassing van duurzame energie bijvoorbeeld verdwijnt de directe relatie tussen energiegebruik en CO₂-uitstoot en zou het totale energiegebruik minder sterk terug hoeven dan in de berekeningen is aangehouden volgens strikte duurzaamheidscriteria. Onduidelijk blijft of de historisch vastgestelde energie-elasticiteit nu geldt voor het totale energiegebruik of voor het fossiele energiegebruik. Het is onze indruk dat de mogelijkheden van duurzame energie tot een wat lagere waarde van de energie-elasticiteit zou kunnen leiden.

Hier staat tegenover dat evenmin duidelijk is of de gevonden waarde van de energie-elasticiteit wel voldoende alle vormen van milieu-aantasting weerspiegelt. Mogelijk vindt een afwenteling plaats naar andere milieu-compartimenten, zoals bij gebruik van duurzame energie geen CO₂ vrijkomt, maar wel meer ruimte nodig is.

Om recht te doen aan deze onzekerheden hebben we voor de energie-elasticiteit een ruime marge aangehouden: $0,21 \pm 0,1$. Het is echter niet uit te sluiten dat de juiste waarde ten behoeve van de toekomstberekeningen buiten deze marge ligt.

Tot slot van deze evaluatie worden de uitkomsten van de voorliggende studie vergeleken met enkele andere onderzoeken. Nogmaals wordt benadrukt dat het hierbij niet gaat om een volledige literatuurstudie naar de relatie tussen milieu en economische groei.

Het Centraal Planbureau (1992a) schat de gevolgen van duurzame ontwikkeling voor de economische groei lager in dan volgens de berekeningen in hoofdstuk 4:

"The second question concerns economic attainability. Here the answer is less clear since we have no long-term studies at our disposal which precisely plot the costs of sustainable growth. There is only circumstantial evidence. Combining information on the impact of (far-reaching) national abatement programmes, with information supplied by model studies on the abatement of the greenhouse effects provides support for the conclusion that the *total* costs, in terms of production growth, are relatively moderate: probably between 0.25 and 0.5 per cent annually. Moreover, in many cases the sooner we begin, the lower these costs will be, since the likelihood of irreversible changes increases with 'late response'".

Het is niet duidelijk welke duurzaamheidscriteria zijn aangehouden als basis van deze uitspraak. Hierdoor is een vergelijking met onze studieresultaten niet goed mogelijk.

Gebaseerd op een internationaal overzicht van studies naar de kosten van reductie van de uitstoot van broeikasgassen concludeert de OECD dat de groeivertraging van het wereld-BBP 0,1 à 0,3%-punten per jaar bedraagt (Hoeller e.a., 1990). Het gaat hierbij uitdrukkelijk alléén om broeikasgassen en niet om andere vormen van milieu-aantasting, zodat 'duurzame ontwikkeling' tot een sterkere groeivertraging zal leiden.

Een andere overzichtsstudie naar de kosten van een reductie van de uitstoot van broeikasgassen suggereert dat dit nauwelijks economische gevolgen zal hebben (Krause, 1993). Het belangrijkste argument hiervoor is dat op dit moment nog relatief veel rendabele energiebesparingsopties voor handen zijn. Door bestaande marktimperfecties worden die nu echter niet gerealiseerd. Natuurlijk is het economisch verstandig om deze rendabele besparing te benutten. Het is voorlopig echter nog de vraag of marktimperfecties niet in zekere mate structureel zullen zijn. Krause (1993) benadrukt verder het verschil tussen twee onderzoekslijnen om de economische kosten te schatten:

- met macro-economische modellen (topdown);
- via kostencalculaties van beschikbare technieken (bottom up).

Hij concludeert dat de kostencalculaties lager uitkomen en een beter beeld geven.

Naar onze mening zitten in kostprijsberekeningen voor de toekomst ook aanzienlijke onzekerheden en bestaat de neiging de kosten te onderschatten. Verder blijft de macro-economische doorwerking van milieu-investeringen in deze benadering buiten beschouwing. Er zou een verdringing van 'productieve' investeringen kunnen plaatsvinden; of de rente zou kunnen stijgen.

Een voorbeeld van een kostprijscalculatie is een studie van Becht (1989), die de kosten op lange termijn van 'schone' energie raamt op tenminste f 15/GJ. In economische termen vertaalt komt dit ruwweg overeen met een eenmalig verlies aan BNP van 10% en een structurele groeivertraging van 0,2% per jaar. Dit correspondeert met de ondergrens van de voorliggende studie.

Een recentere indicatie van de toekomstige kosten van 'schone' energie door ons bureau (Van den Haspel e.a., 1992) komt op dezelfde orde van

grootte uit, maar wijst nadrukkelijk op de vele onzekerheden bij een dergelijke kostprijsschatting.

De voorgaande vergelijking samenvattend blijkt dat de genoemde studies ruwweg overeenkomen met de ondergrens uit het voorliggende onderzoek. Zonder nader onderzoek is niet aan te geven of de andere studies te optimistisch zijn of dat de bovengrens uit dit onderzoek te pessimistisch is.

5.3 Conclusies

Op basis van het uitgevoerde onderzoek zijn enkele algemene conclusies te trekken:

- 1 'Duurzame ontwikkeling' leidt hoogstwaarschijnlijk tot een lagere economische groei, zoals die traditioneel wordt gemeten. De mate waarin groeivertraging op zal treden hangt sterk af van beleidsmatige uitgangspunten over de aanvaardbare milieubelasting en van onzekerheden over de - te ontwikkelen - technische mogelijkheden om de milieubelasting te verminderen. De groei van de wereldbevolking heeft de komende decennia minder invloed op de economische groei per inwoner, dan de twee hiervoor genoemde factoren.
- 2 Het is in principe mogelijk om economisch te groeien, zonder de belasting van natuur en milieu, te vergroten. Deze 'duurzame' groei is echter enigszins lager dan bij een verdere groei van de milieubelasting.
- 3 Om te voldoen aan strikte duurzaamheidscriteria is in de industrielanden een zeer sterke verhoging van de 'milieuproduktiviteit' nodig. De milieubelasting per eenheid BNP moet dus flink omlaag. Dit is in theorie mogelijk door technische verbeteringen, een verschuiving in consumptiepatroon en produktiestructuur en door gedragsveranderingen.
- 4 Een gelijke verdeling per wereldburger van de mondiale milieugebruiksruimte zal de inkomensverschillen tussen Noord en Zuid maar weinig verminderen.
- 5 Met de produktiefunctie is het mogelijk verschillende visies op duurzame ontwikkeling, zoals die te beluisteren zijn, te simuleren. Hierdoor ontstaat zicht op de vaak verborgen uitgangspunten, hetgeen de discussie verheldert. De onderscheiden visies lopen uiteen van nauwelijks negatieve gevolgen voor de economische groei, tot nulgroei.

Gezien de kanttekening die in de evaluatie geplaatst zijn bij de gebruikte produktiefunctie en bij de geschatte coëfficiënten, leidt deze voorstudie niet tot harde cijfermatige uitspraken. Om toch enig kwantitatief inzicht te geven, worden enkele berekeningsresultaten weergegeven:

- Bij strikte duurzaamheidscriteria is een groeivertraging berekend van 0,7 à 1,9% per jaar, ten opzichte van het referentiepad. Dit geldt

voor een overgangperiode van 45 jaar, waarin de milieubelasting met ongeveer 90% afneemt. Minder stringente milieurandvoorwaarden kunnen deze groeivertraging aanzienlijk verminderen.

- Na de hiervoor genoemde overgangperiode treedt volgens de berekeningen een blijvende groeivertraging op van 0,1 à 0,5% per jaar.
- Met de ontwikkelde productiefunctie is een indicatie berekend van het zogenaamde 'Groene BNP': het BNP dat we zouden hebben indien de economische ontwikkeling binnen de aangehouden milieugrenzen zou zijn gebleven. Dit gecorrigeerde BNP bedraagt 10 à 50% van het traditioneel gemeten BNP voor de industrielanden.
- Uit de gemaakte berekeningen blijkt dat het inkomensverschil tussen de industrielanden en de Derde Wereld 15 à 35% kleiner zou zijn bij een per hoofd gelijke verdeling van het mondiale inkomen. Ook dan zou echter het inkomen per hoofd in de rijke landen nog aanzienlijk groter zijn dan in de arme landen: 8 à 12 maal zo groot in plaats van de huidige factor 15.
- Bij optimistische aannamen voor de coëfficiënten, een mondiaal gelijk blijvend energiegebruik en een per hoofd gelijke verdeling hiervan, zal volgens de berekeningen de inkomensgroei per hoofd in de Derde Wereld 3% per jaar bedragen. Dit is minder dan de 4 à 5% die de Commissie Brundtland nodig acht om de ergste armoede te bestrijden.

5.4 Aanbevelingen

Het is onze algemene indruk dat nog onvoldoende inzicht bestaat in de kosten - of economische consequenties - van duurzame ontwikkeling. Nader onderzoek hiernaar lijkt ons nodig. Een goed inzicht in de economische gevolgen is van belang bij de voorbereiding van het milieubeleid. Verder kan een vooraf gemaakte expliciete afweging tussen inkomen en milieu er toe leiden dat de uitvoering van het milieubeleid op minder maatschappelijke weerstand stuit, dan dat momenteel het geval is.

De uitgevoerde voorstudie heeft de bruikbaarheid laten zien van een eenvoudige produktiefunctie om inzicht te verkrijgen in de relatie tussen duurzame ontwikkeling en economische groei. Tevens zijn cijfermatige schattingen gegeven. Om betrouwbaarder berekeningen te kunnen maken is vervolgonderzoek nodig. Twee hoofdlijnen hierbij zijn:

- het verbeteren van de in deze voorstudie ontwikkelde aanpak;
- het vergelijken hiervan met de internationale literatuur over het onderwerp duurzame ontwikkeling en economische groei.

Deze onderzoeksaanbevelingen worden hierna uitgewerkt. Daarop volgen nog aanbevelingen voor onderzoek naar het 'Groen BNP' en naar consequenties van een eventuele lagere economische groei.

De volgende verbeteringen zijn aan te brengen in de produktiefunctie en bij het schatten van de coëfficiënten:

- a In met name de hoofdstukken 2 en 3 is uitvoerig ingegaan op de beperkingen van de door ons gehanteerde Cobb-Douglas functie. Onze aanzet kan dan ook verbeterd worden door het hanteren van een meer flexibele produktiefunctie. Gezien de bestaande literatuur ligt dan de keuze voor een zogenaamde translogfunctie voor de

hand. Het is te verwachten dat de door ons gememoreerde inconsistenties hierdoor opgelost kunnen worden. Dit zal de kwantitatieve uitwerking betrouwbaarder maken.

- b In onze aanpak wordt duurzame energie niet expliciet gemodelleerd. In deze voorstudie kon met duurzame energie alleen rekening gehouden worden door een lagere gevoeligheid van de produktie voor fossiele energie te veronderstellen in de gevallen dat duurzame energie relevant was. Deze lagere gevoeligheid moest vervolgens vrij willekeurig kwantitatief worden ingeschat. Door duurzame energie vanaf het begin een expliciete plaats te geven in het model kunnen deze bezwaren weggenomen worden. Het is de verwachting dat hierdoor de resultaten kwantitatief in betrouwbaarheid zullen toenemen.
- c In de studie is het milieu als produktiefactor evenredig verondersteld met fossiele energie. In een vervolgstudie kunnen meerdere factoren expliciet worden onderscheiden. Te denken valt hierbij aan ruimtegebruik en grondstoffen. Hierdoor zouden de consequenties van het teruggaan naar produktie binnen de milieugebruiksruimte beter in kaart gebracht kunnen worden.
- d Kapitaal als produktiefactor is in deze eerste aanzet weggesubstitueerd uit de produktiefunctie, zodat bij het schatten van de parameters kapitaal niet meer expliciet aanwezig is. Door kapitaal expliciet aanwezig te laten tijdens de schatting kan de betrouwbaarheid van de schattingsprocedure worden verhoogd.
- e Meer en vooral internationale data dienen gebruikt te worden om de coëfficiënten uit de produktiefunctie betrouwbaarder te schatten.

Het is gewenst onze onderzoeksresultaten te vergelijken met de internationale literatuur over dit onderwerp. Mogelijk is door andere wetenschappers een gelijksoortige aanpak gevolgd. Verder zijn meedere berekeningen met macro-economische modellen gemaakt, die ter evaluatie kunnen dienen. Tot slot is een vergelijking zinvol met gemaakte kostprijsberekeningen van toe te passen - toekomstige - technieken, om de milieubelasting binnen duurzaamheidsgrenzen te krijgen. De voor- en nadelen van deze drie methoden dienen hierbij nader onderzocht te worden (zie bijvoorbeeld Krause, 1993).

De indicatie van het 'Groene BNP' zoals berekend in deze studie - voor de industrielanden 10 tot 50% lager dan het huidige BNP - geeft alle aanleiding voor een versterkte onderzoeksinspanning om tot een correctie van het BNP te komen.

Gezien de waarschijnlijkheid van een lagere economische groei bij een duurzame ontwikkeling is het zinvol nader onderzoek te doen naar de maatschappelijke consequenties hiervan. Dit kan betrekking hebben op de overheidsfinanciën, op sociale aspecten (bijvoorbeeld de inkomensverdeling) en op de gevolgen voor het bedrijfsleven. Ook is onderzoek gewenst naar de optimale snelheid van een koerswijziging richting duurzame ontwikkeling, om kapitaalvernietiging en economische instabiliteit zo veel mogelijk te voorkomen.

Literatuur

- Becht, H.Y., 1989
CO₂-emissies van lange termijn energiescenario's
Centrum voor energiebesparing
en schone technologie
Delft, 1989
- Boer, I. de, 1992
Duurzame economie
een inventarisatie van onderzoeksbehoeften
RMNO
Rijswijk, mei 1992
- Buitenkamp, M., H. Vennes en T. Wams (red), 1992
Actieplan Nederland Duurzaam
Vereniging Milieudefensie
Amsterdam, 1992
- Bruin, G. de, W.A. Hafkamp, M. Hötte en J. v.d. Vlies, 1992
Verspilling en economie
KPMG Milieu
Den Haag, juli 1992
- CBS, 1989
Negentig jaren statistiek in tijdreeksen
SDU uitgeverij
Den Haag, 1989
- CBS, 1992
Nationale rekeningen 1991
SDU uitgeverij
Den Haag, 1992
- CPB, 1992a
Scanning the future
SDU Publishers
The Hague, 1992
- CPB, 1992b
Nederland in drievoud
Sdu Uitgeverij
Den Haag, 1992
- Hartog, F., 1981
Toegepaste welvaartstheorie
Stenfert Kroese
Leiden/Antwerpen, 1981

- Heijman, W.J.M., 1991
 Depletable resources and the economy
 Agricultural University
 Wageningen, 1991
- Hoeller, P., A. Dean, J. Nicolaisen, 1990
 A survey of studies of the costs of reducing greenhouse gas emissions
 OECD Working Papers No. 89
 Paris, December 1990
- Huetting, R., 1974
 Nieuwe schaarste en economische groei
 Agon Elsevier
 Amsterdam/Brussel, 1974
- Huetting, R., P. Bosch en B. de Boer, 1992
 Methodology for the calculation of sustainable national income
 CBS - Statistische onderzoeken M44
 Den Haag, SDU/Uitgeverij, 1992
- Jánicke, M., H. Mönch, T. Ranneberg en U.E. Simonis, 1989
 Structural change and environmental impact: emperical evidence on
 thirty-one countries in East and West
 in: Environmental Monitoring and Assessment 12 : 99 - 114
 Kluwer Academic Publishers, 1989
- Jorgenson, D.W., F.M. Gollop and B. Fraumeni, 1987
 Productivity and U.S. Economic Growth
 North-Holland, Amsterdam/Oxford.
- Klundert, Th. van de, 1975
 Grondslagen van de economische analyse
 Academische Paperbacks
- Kuipers, S.K. en B.S. Wilpstra, 1983
 Conjunctuur- en groeitheorie
 Stenfert Kroese
 Leiden/Antwerpen, 1983
- Magnus, J.R., 1979
 Substitution between energy and non-energy inputs in the Netherlands
 1950-1976
 Internatinal Economic Review, 20, pp. 465-484.
- Meadows, D.J., D.L. Meadows en J. Randers, 1992
 De grenzen voorbij
 Spectrum/Aula, 1992
- Nota Klimaatverandering, 1991
 Minister van VROM
 's-Gravenhage, september 1991

Sips, H.W., 1991
Financiële waardering van het milieu
Centrum voor energiebesparing en schone technologie
Delft, februari 1991

Straaten, J. van der, 1990
Zure regen - Economische theorie en het Nederlandse beleid
Uitgeverij Jan van Arkel/Utrecht
Tilburg, 1990

Stuurgroep Regulerende Energieheffingen, 1992
Eindrapportage
Ministerie van Economische Zaken, februari 1992

UN, 1991a
Energy Statistics Yearbook
Department of International Economic and Social Affairs
United Nations
New York, 1991

UN, 1991b
National Account Statistics
Analysis of Main Aggregates 1988-1989
United Nations
New York, 1991

UN, 1992
Long-range World Population Projections
United Nations
New York, 1992

Varian, H.R., 1992
Micro-economic Analysis, third edition
Norton & Company, New York/London.

Vlot, I. en J.P. van Soest, 1992
Vorstudie Verkenningen Duurzame Ontwikkeling
Basisinventarisatie/interne notitie
Centrum voor energiebesparing en schone technologie
Delft, juni 1992

Weterings, R.A.P.M. en J.B. Opschoor, 1992
De milieugebruiksruimte als uitdaging voor technologie-ontwikkeling
RMNO
Rijswijk, april 1992

World Commission on Environment and Development, 1987
Our Common Future
Oxford University Press
Oxford/New York, 1987

WRI, 1992
World Resources 1992-93
Oxford University Press
New York/Oxford, 1992

Bijlage A Berekeningen arbeidsprodukti- viteit en energieproductiviteit

Gebruikte data

BNP

Uit 'National Accounts Statistics' (1991) zijn voor alle landen de cijfers betreffende 'GDP at Constant Prices' (index) gebruikt om BNP cijfers te berekenen in US dollars van 1980.

Bevolking

Uit 'Demographic Yearbooks' (1989, 1979 en 1961) zijn de bevolkingscijfers overgenomen.

Energie

Uit 'World Energy Supplies 1950 - 1974' (1976) zijn de energiegebruikscijfers overgenomen voor de jaren 1950, 1960 en 1970 in tonnen kolen equivalent.

Uit 'Yearbook of World Energy Statistics' (1980) zijn de energiegebruikscijfers overgenomen voor 1980 in tonnen kolen equivalent.

Uit 'Energy Statistics Yearbook 1989' (1991) zijn de energiegebruikscijfers overgenomen voor 1989 in tonnen olie equivalent. Deze zijn omgerekend naar kolen equivalent door te delen met de factor 0.7

Berekeningen:

De arbeidsproductiviteit is berekend per land door het BNP te delen door het bevolkingsaantal. De energieproductiviteit is berekend per land door het BNP te delen door het energiegebruik.

De stijging van zowel de arbeids- als energieproductiviteit in een decennium is berekend op jaarbasis, dat wil zeggen: een gemiddelde stijging per jaar in het betreffende decennium.

Voor de landengroepen zijn de berekeningen op dezelfde wijze uitgevoerd.

Bijlage B Berekeningsresultaten

DUURZAME ECONOMIE VERSIE 3

CE, juni 1993

UITGANGSPUNTEN

| | |
|---------------------------------------|---------------------------|
| Periode vanaf 1990 | 45 jaar (tussen 35 en 60) |
| Bevolkingsgroei | 2 midden |
| Wereld energiegebruik | 40 % van huidig niveau |
| Energiegebruik/inw. | |
| OECD/Overig | 1 (nu factor 10,8) |
| NME/Overig | 1 (nu factor 10,5) |
| Productiviteitsgroei | |
| OECD | 2 %/jaar |
| NME en overig | 2 %/jaar |
| Energie-elasticiteit van de productie | .21 |

RESULTATEN

| | Bevolking | | groei per jaar | |
|-----------|-----------|----------|----------------|-------|
| | miljoen | relatief | | |
| OECD | 934 | 10% | 12% | .25% |
| OE en GOS | 522 | 6% | 22% | .44% |
| Overige | 7654 | 84% | 90% | 1.44% |
| Wereld | 9110 | 100% | 72% | 1.21% |

| | Energiegebruik | | groei per jaar | | per inwoner | | |
|-----------|----------------|----------|----------------|--------|-------------|----------------|--------|
| | mld ske | relatief | | | mld ske | groei per jaar | |
| OECD | 406 | 10% | -92% | -5.43% | .43 | -93% | -5.84% |
| OE en GOS | 227 | 6% | -91% | -5.21% | .43 | -93% | -5.78% |
| Overige | 3329 | 84% | 40% | .76% | .43 | -26% | -.67% |
| Wereld | 3962 | 100% | -60% | -2.02% | .43 | -77% | -3.24% |

| | BNP | | groei per jaar | | BNP per inwoner | | |
|-----------|---------|----------|----------------|-------|-----------------|----------------|-------|
| | \$ 1980 | relatief | | | \$ 1980 | groei per jaar | |
| OECD | 16009 | 50% | 59% | 1.03% | 17.1 | 42% | .77% |
| OE en GOS | 2257 | 7% | 73% | 1.23% | 4.3 | 42% | .79% |
| Overige | 13996 | 43% | 338% | 3.34% | 1.8 | 131% | 1.86% |
| Wereld | 32262 | 100% | 121% | 1.78% | 3.5 | 29% | .56% |

| | BNP per inwoner tov OECD | | groei | | BNP per ton ske | | |
|-----------|--------------------------|------|-------|--|-----------------|----------------|-------|
| | | 1990 | | | | groei per jaar | |
| OECD | 1.00 | 1.00 | | | 39.4 | 1861% | 6.61% |
| OE en GOS | .25 | .25 | | | 9.9 | 1822% | 6.57% |
| Overige | .11 | .07 | | | 4.2 | 212% | 2.53% |
| Wereld | .21 | .23 | | | 8.1 | 453% | 3.80% |

UITGANGSPUNTEN

| | | |
|--|----------|-------------------|
| Periode vanaf 1990 | 45 jaar | (tussen 35 en 60) |
| Bevolkingsgroei | 2 midden | |
| Wereld energiegebruik | 40 % | van huidig niveau |
| Energiegebruik/inw. | | |
| OECD/Overig | 1 | (nu factor 10,8) |
| NME/Overig | 1 | (nu factor 10,5) |
| Productiviteitsgroei | | |
| OECD | 2 %/jaar | |
| NME en overig | 2 %/jaar | |
| Energie-elasticiteit van de productie | .21 | |

RESULTATEN

| | Bevolking | | groei per jaar | | per inwoner | | |
|-----------|-----------|----------|----------------|-------|-------------|----------------|--------|
| | miljoen | relatief | | | mld ske | groei per jaar | |
| OECD | 934 | 10% | 12% | .25% | .43 | -93% | -5.84% |
| OE en GOS | 522 | 6% | 22% | .44% | .43 | -93% | -5.78% |
| Overige | 7654 | 84% | 90% | 1.44% | .43 | -26% | -.67% |
| Wereld | 9110 | 100% | 72% | 1.21% | .43 | -77% | -3.24% |

| | Energiegebruik | | groei per jaar | | per inwoner | | |
|-----------|----------------|----------|----------------|--------|-------------|----------------|--------|
| | mld ske | relatief | | | mld ske | groei per jaar | |
| OECD | 406 | 10% | -92% | -5.43% | .43 | -93% | -5.84% |
| OE en GOS | 227 | 6% | -91% | -5.21% | .43 | -93% | -5.78% |
| Overige | 3329 | 84% | 40% | .76% | .43 | -26% | -.67% |
| Wereld | 3962 | 100% | -60% | -2.02% | .43 | -77% | -3.24% |

| | BNP | | groei per jaar | | BNP per inwoner | | |
|-----------|---------|----------|----------------|-------|-----------------|----------------|-------|
| | \$ 1980 | relatief | | | \$ 1980 | groei per jaar | |
| OECD | 16009 | 50% | 59% | 1.03% | 17.1 | 42% | .77% |
| OE en GOS | 2257 | 7% | 73% | 1.23% | 4.3 | 42% | .79% |
| Overige | 13996 | 43% | 338% | 3.34% | 1.8 | 131% | 1.86% |
| Wereld | 32262 | 100% | 121% | 1.78% | 3.5 | 29% | .56% |

| | BNP per inwoner tov OECD | | | BNP per ton ske | | |
|-----------|--------------------------|-------|------|-----------------|----------------|-------|
| | 1.00 | groei | 1990 | 39.4 | groei per jaar | |
| OECD | 1.00 | | 1.00 | 39.4 | 1861% | 6.61% |
| OE en GOS | .25 | 1% | .25 | 9.9 | 1822% | 6.57% |
| Overige | .11 | 63% | .07 | 4.2 | 212% | 2.53% |
| Wereld | .21 | -9% | .23 | 8.1 | 453% | 3.80% |

UITGANGSPUNTEN

| | |
|---------------------------------------|---------------------------|
| Periode vanaf 1990 | 60 jaar (tussen 35 en 60) |
| Bevolkingsgroei | 2 midden |
| Wereld energieverbruik | 40 % van huidig niveau |
| Energiegebruik/inw. | |
| OECD/Overig | 1 (nu factor 10,8) |
| NME/Overig | 1 (nu factor 10,5) |
| Productiviteitsgroei | |
| OECD | 2 %/jaar |
| NME en overig | 2 %/jaar |
| Energie-elasticiteit van de productie | .21 |

RESULTATEN

| | Bevolking | | groei per jaar | |
|-----------|-----------|----------|----------------|-------|
| | miljoen | relatief | | |
| OECD | 933 | 9% | 12% | .19% |
| OE en GOS | 546 | 5% | 27% | .40% |
| Overige | 8540 | 85% | 112% | 1.26% |
| Wereld | 10019 | 100% | 89% | 1.07% |

| | Energiegebruik | | groei per jaar | | per inwoner | | |
|-----------|----------------|----------|----------------|--------|-------------|----------------|--------|
| | mld ske | relatief | | | mld ske | groei per jaar | |
| OECD | 369 | 9% | -93% | -4.26% | .40 | -93% | -4.54% |
| OE en GOS | 216 | 5% | -91% | -4.01% | .40 | -93% | -4.50% |
| Overige | 3377 | 85% | 42% | .59% | .40 | -33% | -.66% |
| Wereld | 3962 | 100% | -60% | -1.52% | .40 | -79% | -2.59% |

| | BNP | | groei per jaar | | BNP per inwoner | | |
|-----------|---------|----------|----------------|-------|-----------------|----------------|-------|
| | \$ 1980 | relatief | | | \$ 1980 | groei per jaar | |
| OECD | 21156 | 47% | 110% | 1.24% | 22.7 | 87% | 1.05% |
| OE en GOS | 3124 | 7% | 140% | 1.47% | 5.7 | 88% | 1.06% |
| Overige | 20663 | 46% | 547% | 3.16% | 2.4 | 205% | 1.86% |
| Wereld | 44943 | 100% | 208% | 1.89% | 4.5 | 63% | .81% |

| | BNP per inwoner tov OECD | | | BNP per ton ske | | |
|-----------|--------------------------|-------|------|-----------------|----------------|-------|
| | 1.00 | groei | 1990 | | groei per jaar | |
| OECD | 1.00 | | 1.00 | 57.4 | 2754% | 5.59% |
| OE en GOS | .25 | 1% | .25 | 14.5 | 2697% | 5.55% |
| Overige | .11 | 63% | .07 | 6.1 | 355% | 2.52% |
| Wereld | .20 | -13% | .23 | 11.3 | 671% | 3.40% |

UITGANGSPUNTEN

| | | |
|--|----------|-------------------|
| Periode vanaf 1990 | 45 jaar | (tussen 35 en 60) |
| Bevolkingsgroei | 3 hoog | |
| Wereld energiegebruik | 40 % | van huidig niveau |
| Energiegebruik/inw. | | |
| OECD/Overig | 1 | (nu factor 10,8) |
| NME/Overig | 1 | (nu factor 10,5) |
| Productiviteitsgroei | | |
| OECD | 2 %/jaar | |
| NME en overig | 2 %/jaar | |
| Energie-elasticiteit van de produktie | .21 | |

RESULTATEN

| | Bevolking | | groei per jaar | |
|-----------|-----------|----------|----------------|-------|
| | miljoen | relatief | | |
| OECD | 1088 | 10% | 31% | .60% |
| OE en GOS | 610 | 6% | 42% | .79% |
| Overige | 8970 | 84% | 123% | 1.79% |
| Wereld | 10669 | 100% | 102% | 1.57% |

| | Energiegebruik | | groei per jaar | | per inwoner | | |
|-----------|----------------|----------|----------------|--------|-------------|----------------|--------|
| | mld ske | relatief | | | mld ske | groei per jaar | |
| OECD | 404 | 10% | -92% | -5.44% | .37 | -94% | -6.19% |
| OE en GOS | 227 | 6% | -91% | -5.21% | .37 | -94% | -6.13% |
| Overige | 3331 | 84% | 40% | .76% | .37 | -37% | -1.02% |
| Wereld | 3962 | 100% | -60% | -2.02% | .37 | -80% | -3.59% |

| | BNP | | groei per jaar | | BNP per inwoner | | |
|-----------|---------|----------|----------------|-------|-----------------|----------------|-------|
| | \$ 1980 | relatief | | | \$ 1980 | groei per jaar | |
| OECD | 18050 | 49% | 79% | 1.30% | 16.6 | 37% | .70% |
| OE en GOS | 2550 | 7% | 96% | 1.51% | 4.2 | 38% | .71% |
| Overige | 15868 | 44% | 397% | 3.63% | 1.8 | 123% | 1.79% |
| Wereld | 36469 | 100% | 150% | 2.06% | 3.4 | 24% | .48% |

| | BNP per inwoner tov OECD | | | BNP per ton ske | | |
|-----------|--------------------------|-------|------|-----------------|----------------|-------|
| | | groei | 1990 | | groei per jaar | |
| OECD | 1.00 | | 1.00 | 44.7 | 2122% | 6.89% |
| OE en GOS | .25 | 1% | .25 | 11.3 | 2077% | 6.85% |
| Overige | .11 | 63% | .07 | 4.8 | 254% | 2.81% |
| Wereld | .21 | -9% | .23 | 9.2 | 526% | 4.07% |

UITGANGSPUNTEN

| | | |
|-----------------------|----------|-------------------|
| Periode vanaf 1990 | 45 jaar | (tussen 35 en 60) |
| Bevolkingsgroei | 1 laag | |
| Wereld energiegebruik | 40 % | van huidig niveau |
| Energiegebruik/inw. | | |
| OECD/Overig | 1 | (nu factor 10,8) |
| NME/Overig | 1 | (nu factor 10,5) |
| Productiviteitsgroei | | |
| OECD | 2 %/jaar | |
| NME en overig | 2 %/jaar | |
| Energie-elasticiteit | | |
| van de productie | .21 | |

RESULTATEN

| | Bevolking | | groei per jaar | |
|-----------|-----------|----------|----------------|-------|
| | miljoen | relatief | | |
| OECD | 791 | 10% | -5% | -.11% |
| OE en GOS | 441 | 6% | 3% | .06% |
| Overige | 6447 | 84% | 60% | 1.05% |
| Wereld | 7680 | 100% | 45% | .83% |

| | Energiegebruik | | groei per jaar | | per inwoner | | |
|-----------|----------------|----------|----------------|--------|-------------|----------------|--------|
| | mld ske | relatief | | | mld ske | groei per jaar | |
| OECD | 408 | 10% | -92% | -5.42% | .52 | -91% | -5.46% |
| OE en GOS | 228 | 6% | -91% | -5.20% | .52 | -91% | -5.40% |
| Overige | 3326 | 84% | 40% | .75% | .52 | -12% | -.29% |
| Wereld | 3962 | 100% | -60% | -2.02% | .52 | -72% | -2.86% |

| | BNP | | groei per jaar | | BNP per inwoner | | |
|-----------|---------|----------|----------------|-------|-----------------|----------------|-------|
| | \$ 1980 | relatief | | | \$ 1980 | groei per jaar | |
| OECD | 14064 | 50% | 40% | .74% | 17.8 | 47% | .85% |
| OE en GOS | 1977 | 7% | 52% | .93% | 4.5 | 48% | .87% |
| Overige | 12219 | 43% | 283% | 3.03% | 1.9 | 139% | 1.94% |
| Wereld | 28261 | 100% | 94% | 1.48% | 3.7 | 34% | .64% |

| | BNP per inwoner tov OECD | | 1990 | BNP per ton ske | |
|-----------|--------------------------|-------|------|-----------------|----------------|
| | 1.00 | groei | | 34.4 | groei per jaar |
| OECD | 1.00 | | 1.00 | 1614% | 6.31% |
| OE en GOS | .25 | 1% | .25 | 1579% | 6.27% |
| Overige | .11 | 63% | .07 | 173% | 2.23% |
| Wereld | .21 | -9% | .23 | 385% | 3.51% |

UITGANGSPUNTEN

| | |
|---------------------------------------|---------------------------|
| Periode vanaf 1990 | 45 jaar (tussen 35 en 60) |
| Bevolkingsgroei | 2 midden |
| Wereld energiegebruik | 100 % van huidig niveau |
| Energiegebruik/inw. | |
| OECD/Overig | 1 (nu factor 10,8) |
| NME/Overig | 1 (nu factor 10,5) |
| Productiviteitsgroei | |
| OECD | 2 %/jaar |
| NME en overig | 2 %/jaar |
| Energie-elasticiteit van de productie | .21 |

RESULTATEN

| | Bevolking | | groei per jaar | |
|-----------|-----------|----------|----------------|-------|
| | miljoen | relatief | | |
| OECD | 934 | 10% | 12% | .25% |
| OE en GOS | 522 | 6% | 22% | .44% |
| Overige | 7654 | 84% | 90% | 1.44% |
| Wereld | 9110 | 100% | 72% | 1.21% |

| | Energiegebruik | | groei per jaar | | per inwoner | | |
|-----------|----------------|----------|----------------|--------|-------------|----------------|--------|
| | mld ske | relatief | | | mld ske | groei per jaar | |
| OECD | 1015 | 10% | -80% | -3.49% | 1.09 | -82% | -3.80% |
| OE en GOS | 568 | 6% | -77% | -3.26% | 1.09 | -81% | -3.75% |
| Overige | 8322 | 84% | 251% | 2.83% | 1.09 | 85% | 1.36% |
| Wereld | 9905 | 100% | 0% | .00% | 1.09 | -42% | -1.21% |

| | BNP | | groei per jaar | | BNP per inwoner | | |
|-----------|---------|----------|----------------|-------|-----------------|----------------|-------|
| | \$ 1980 | relatief | | | \$ 1980 | groei per jaar | |
| OECD | 19406 | 50% | 93% | 1.47% | 20.8 | 72% | 1.20% |
| OE en GOS | 2735 | 7% | 110% | 1.66% | 5.2 | 73% | 1.21% |
| Overige | 16966 | 43% | 431% | 3.78% | 2.2 | 180% | 2.29% |
| Wereld | 39108 | 100% | 168% | 2.22% | 4.3 | 56% | .99% |

| | BNP per inwoner tov OECD | | | BNP per ton ske | | |
|-----------|--------------------------|-------|------|-----------------|----------------|-------|
| | 1.00 | groei | 1990 | | groei per jaar | |
| OECD | 1.00 | | 1.00 | 19.1 | 851% | 5.01% |
| OE en GOS | .25 | 1% | .25 | 4.8 | 832% | 4.96% |
| Overige | .11 | 63% | .07 | 2.0 | 51% | .92% |
| Wereld | .21 | -9% | .23 | 3.9 | 168% | 2.19% |

UITGANGSPUNTEN

| | | |
|--|----------|-------------------|
| Periode vanaf 1990 | 45 jaar | (tussen 35 en 60) |
| Bevolkingsgroei | 2 midden | |
| Wereld energiegebruik | 40 % | van huidig niveau |
| Energiegebruik/inw. | | |
| OECD/Overig | 5 | (nu factor 10,8) |
| NME/Overig | 3 | (nu factor 10,5) |
| Productiviteitsgroei | | |
| OECD | 2 %/jaar | |
| NME en overig | 2 %/jaar | |
| Energie-elasticiteit van de produktie | .21 | |

RESULTATEN

| | Bevolking | | groei per jaar | |
|-----------|-----------|----------|----------------|-------|
| | miljoen | relatief | | |
| OECD | 934 | 10% | 12% | .25% |
| OE en GOS | 522 | 6% | 22% | .44% |
| Overige | 7654 | 84% | 90% | 1.44% |
| Wereld | 9110 | 100% | 72% | 1.21% |

| | Energiegebruik | | groei per jaar | | per inwoner | | |
|-----------|----------------|----------|----------------|--------|-------------|----------------|--------|
| | mld ske | relatief | | | mld ske | groei per jaar | |
| OECD | 1332 | 34% | -73% | -2.90% | 1.43 | -76% | -3.20% |
| OE en GOS | 447 | 11% | -82% | -3.77% | .86 | -85% | -4.28% |
| Overige | 2183 | 55% | -8% | -.18% | .29 | -52% | -1.61% |
| Wereld | 3962 | 100% | -60% | -2.02% | .43 | -77% | -3.24% |

| | BNP | | groei per jaar | | BNP per inwoner | | |
|-----------|---------|----------|----------------|-------|-----------------|----------------|-------|
| | \$ 1980 | relatief | | | \$ 1980 | groei per jaar | |
| OECD | 20544 | 57% | 104% | 1.60% | 22.0 | 82% | 1.33% |
| OE en GOS | 2601 | 7% | 100% | 1.55% | 5.0 | 64% | 1.10% |
| Overige | 12810 | 36% | 301% | 3.14% | 1.7 | 111% | 1.66% |
| Wereld | 35955 | 100% | 147% | 2.03% | 3.9 | 43% | .80% |

| | BNP per inwoner tov OECD | | | BNP per ton ske | | |
|-----------|--------------------------|-------|------|-----------------|----------------|-------|
| | 1.00 | groei | 1990 | 15.4 | groei per jaar | |
| OECD | 1.00 | | 1.00 | 15.4 | 668% | 4.53% |
| OE en GOS | .23 | -10% | .25 | 5.8 | 1026% | 5.38% |
| Overige | .08 | 16% | .07 | 5.9 | 336% | 3.27% |
| Wereld | .18 | -21% | .23 | 9.1 | 517% | 4.04% |

UITGANGSPUNTEN

| | |
|---------------------------------------|---------------------------|
| Periode vanaf 1990 | 45 jaar (tussen 35 en 60) |
| Bevolkingsgroei | 2 midden |
| Wereld energiegebruik | 40 % van huidig niveau |
| Energiegebruik/inw. | |
| OECD/Overig | 1 (nu factor 10,8) |
| NME/Overig | 1 (nu factor 10,5) |
| Productiviteitsgroei | |
| OECD | 2.5 %/jaar |
| NME en overig | 2.5 %/jaar |
| Energie-elasticiteit van de productie | .21 |

RESULTATEN

| | Bevolking | | groei per jaar | |
|-----------|-----------|----------|----------------|-------|
| | miljoen | relatief | | |
| OECD | 934 | 10% | 12% | .25% |
| OE en GOS | 522 | 6% | 22% | .44% |
| Overige | 7654 | 84% | 90% | 1.44% |
| Wereld | 9110 | 100% | 72% | 1.21% |

| | Energiegebruik | | groei per jaar | | per inwoner | |
|-----------|----------------|----------|----------------|--------|-------------|----------------|
| | mld ske | relatief | | | mld ske | groei per jaar |
| OECD | 406 | 10% | -92% | -5.43% | .43 | -93% |
| OE en GOS | 227 | 6% | -91% | -5.21% | .43 | -93% |
| Overige | 3329 | 84% | 40% | .76% | .43 | -26% |
| Wereld | 3962 | 100% | -60% | -2.02% | .43 | -77% |

| | BNP | | groei per jaar | | BNP per inwoner | |
|-----------|---------|----------|----------------|-------|-----------------|----------------|
| | \$ 1980 | relatief | | | \$ 1980 | groei per jaar |
| OECD | 20048 | 50% | 99% | 1.54% | 21.5 | 77% |
| OE en GOS | 2826 | 7% | 117% | 1.74% | 5.4 | 78% |
| Overige | 17528 | 43% | 449% | 3.86% | 2.3 | 189% |
| Wereld | 40403 | 100% | 177% | 2.29% | 4.4 | 61% |

| | BNP per inwoner tov OECD | | BNP per ton ske | |
|-----------|--------------------------|-------|-----------------|----------------|
| | 1.00 | groei | 1990 | groei per jaar |
| OECD | 1.00 | | 1.00 | 7.11% |
| OE en GOS | .25 | 1% | .25 | 2307% |
| Overige | .11 | 63% | .07 | 291% |
| Wereld | .21 | -9% | .23 | 593% |

UITGANGSPUNTEN

| | | |
|--|------------|-------------------|
| Periode vanaf 1990 | 45 jaar | (tussen 35 en 60) |
| Bevolkingsgroei | 2 midden | |
| Wereld energiegebruik | 40 % | van huidig niveau |
| Energiegebruik/inw. | | |
| OECD/Overig | 1 | (nu factor 10,8) |
| NME/Overig | 1 | (nu factor 10,5) |
| Productiviteitsgroei | | |
| OECD | 1.5 %/jaar | |
| NME en overig | 1.5 %/jaar | |
| Energie-elasticiteit van de productie | .21 | |

RESULTATEN

| | Bevolking | | groei per jaar | |
|-----------|-----------|----------|----------------|-------|
| | miljoen | relatief | | |
| OECD | 934 | 10% | 12% | .25% |
| OE en GOS | 522 | 6% | 22% | .44% |
| Overige | 7654 | 84% | 90% | 1.44% |
| Wereld | 9110 | 100% | 72% | 1.21% |

| | Energiegebruik | | groei per jaar | | per inwoner | | |
|-----------|----------------|----------|----------------|--------|-------------|----------------|--------|
| | mld ske | relatief | | | mld ske | groei per jaar | |
| OECD | 406 | 10% | -92% | -5.43% | .43 | -93% | -5.84% |
| OE en GOS | 227 | 6% | -91% | -5.21% | .43 | -93% | -5.78% |
| Overige | 3329 | 84% | 40% | .76% | .43 | -26% | -.67% |
| Wereld | 3962 | 100% | -60% | -2.02% | .43 | -77% | -3.24% |

| | BNP | | groei per jaar | | BNP per inwoner | | |
|-----------|---------|----------|----------------|-------|-----------------|----------------|-------|
| | \$ 1980 | relatief | | | \$ 1980 | groei per jaar | |
| OECD | 12783 | 50% | 27% | .53% | 13.7 | 13% | .27% |
| OE en GOS | 1802 | 7% | 38% | .73% | 3.5 | 14% | .29% |
| Overige | 11176 | 43% | 250% | 2.82% | 1.5 | 84% | 1.36% |
| Wereld | 25762 | 100% | 77% | 1.27% | 2.8 | 3% | .06% |

| | BNP per inwoner tov OECD | | | BNP per ton ske | | |
|-----------|--------------------------|-------|------|-----------------|----------------|-------|
| | | groei | 1990 | | groei per jaar | |
| OECD | 1.00 | | 1.00 | 31.5 | 1466% | 6.11% |
| OE en GOS | .25 | 1% | .25 | 7.9 | 1435% | 6.07% |
| Overige | .11 | 63% | .07 | 3.4 | 149% | 2.03% |
| Wereld | .21 | -9% | .23 | 6.5 | 342% | 3.30% |

UITGANGSPUNTEN

| | | |
|-----------------------|------------|-------------------|
| Periode vanaf 1990 | 45 jaar | (tussen 35 en 60) |
| Bevolkingsgroei | 2 midden | |
| Wereld energiegebruik | 40 % | van huidig niveau |
| Energiegebruik/inw. | | |
| OECD/Overig | 1 | (nu factor 10,8) |
| NME/Overig | 1 | (nu factor 10,5) |
| Productiviteitsgroei | | |
| OECD | 1.5 %/jaar | |
| NME en overig | 2 %/jaar | |
| Energie-elasticiteit | | |
| van de productie | .21 | |

RESULTATEN

| | Bevolking | | groei per jaar | |
|-----------|-----------|----------|----------------|-------|
| | miljoen | relatief | | |
| OECD | 934 | 10% | 12% | .25% |
| OE en GOS | 522 | 6% | 22% | .44% |
| Overige | 7654 | 84% | 90% | 1.44% |
| Wereld | 9110 | 100% | 72% | 1.21% |

| | Energiegebruik | | groei per jaar | | per inwoner | | |
|-----------|----------------|----------|----------------|--------|-------------|----------------|--------|
| | mld ske | relatief | | | mld ske | groei per jaar | |
| OECD | 406 | 10% | -92% | -5.43% | .43 | -93% | -5.84% |
| OE en GOS | 227 | 6% | -91% | -5.21% | .43 | -93% | -5.78% |
| Overige | 3329 | 84% | 40% | .76% | .43 | -26% | -.67% |
| Wereld | 3962 | 100% | -60% | -2.02% | .43 | -77% | -3.24% |

| | BNP | | groei per jaar | | BNP per inwoner | | |
|-----------|---------|----------|----------------|-------|-----------------|----------------|-------|
| | \$ 1980 | relatief | | | \$ 1980 | groei per jaar | |
| OECD | 12783 | 44% | 27% | .53% | 13.7 | 13% | .27% |
| OE en GOS | 2257 | 8% | 73% | 1.23% | 4.3 | 42% | .79% |
| Overige | 13996 | 48% | 338% | 3.34% | 1.8 | 131% | 1.86% |
| Wereld | 29037 | 100% | 99% | 1.54% | 3.2 | 16% | .32% |

| | BNP per inwoner tov OECD | | BNP per ton ske | | |
|-----------|--------------------------|-------|-----------------|----------------|-------|
| | 1.00 | groei | 1990 | groei per jaar | |
| OECD | 1.00 | | 1.00 | 1466% | 6.11% |
| OE en GOS | .32 | 26% | .25 | 1822% | 6.57% |
| Overige | .13 | 104% | .07 | 212% | 2.53% |
| Wereld | .23 | 2% | .23 | 398% | 3.57% |

UITGANGSPUNTEN

| | | |
|---------------------------------------|------------------------|-------------------|
| Periode vanaf 1990 | 45 jaar | (tussen 35 en 60) |
| Bevolkingsgroei | 2 midden | |
| Wereld energiegebruik | 40 % van huidig niveau | |
| Energiegebruik/inw. | | |
| OECD/Overig | 1 (nu factor 10,8) | |
| NME/Overig | 1 (nu factor 10,5) | |
| Productiviteitsgroei | | |
| OECD | 2 %/jaar | |
| NME en overig | 2 %/jaar | |
| Energie-elasticiteit van de productie | .11 | |

RESULTATEN

| | Bevolking | | groei per jaar | | per inwoner | | |
|-----------|-----------|----------|----------------|-------|-------------|----------------|--------|
| | miljoen | relatief | | | mld ske | groei per jaar | |
| OECD | 934 | 10% | 12% | .25% | .43 | -93% | -5.84% |
| OE en GOS | 522 | 6% | 22% | .44% | .43 | -93% | -5.78% |
| Overige | 7654 | 84% | 90% | 1.44% | .43 | -26% | -.67% |
| Wereld | 9110 | 100% | 72% | 1.21% | .43 | -77% | -3.24% |

| | Energiegebruik | | groei per jaar | | per inwoner | | |
|-----------|----------------|----------|----------------|--------|-------------|----------------|--------|
| | mld ske | relatief | | | mld ske | groei per jaar | |
| OECD | 406 | 10% | -92% | -5.43% | .43 | -93% | -5.84% |
| OE en GOS | 227 | 6% | -91% | -5.21% | .43 | -93% | -5.78% |
| Overige | 3329 | 84% | 40% | .76% | .43 | -26% | -.67% |
| Wereld | 3962 | 100% | -60% | -2.02% | .43 | -77% | -3.24% |

| | BNP | | groei per jaar | | BNP per inwoner | | |
|-----------|---------|----------|----------------|-------|-----------------|----------------|-------|
| | \$ 1980 | relatief | | | \$ 1980 | groei per jaar | |
| OECD | 20821 | 55% | 107% | 1.63% | 22.3 | 84% | 1.36% |
| OE en GOS | 2927 | 8% | 125% | 1.82% | 5.6 | 85% | 1.36% |
| Overige | 14427 | 38% | 352% | 3.41% | 1.9 | 138% | 1.93% |
| Wereld | 38175 | 100% | 162% | 2.16% | 4.2 | 52% | .93% |

| | BNP per inwoner tov OECD | | | BNP per ton ske | | |
|-----------|--------------------------|-------|------|-----------------|----------------|-------|
| | 1.00 | groei | 1990 | 51.3 | groei per jaar | |
| OECD | 1.00 | | 1.00 | 51.3 | 2451% | 7.20% |
| OE en GOS | .25 | 0% | .25 | 12.9 | 2393% | 7.15% |
| Overige | .08 | 29% | .07 | 4.3 | 222% | 2.60% |
| Wereld | .19 | -17% | .23 | 9.6 | 555% | 4.18% |

UITGANGSPUNTEN

| | | |
|---------------------------------------|------------------------|-------------------|
| Periode vanaf 1990 | 45 jaar | (tussen 35 en 60) |
| Bevolkingsgroei | 2 midden | |
| Wereld energiegebruik | 40 % van huidig niveau | |
| Energiegebruik/inw. | | |
| OECD/Overig | 1 (nu factor 10,8) | |
| NME/Overig | 1 (nu factor 10,5) | |
| Productiviteitsgroei | | |
| OECD | 2 %/jaar | |
| NME en overig | 2 %/jaar | |
| Energie-elasticiteit van de productie | .31 | |

RESULTATEN

| | Bevolking | | groei per jaar | |
|-----------|-----------|----------|----------------|-------|
| | miljoen | relatief | | |
| OECD | 934 | 10% | 12% | .25% |
| OE en GOS | 522 | 6% | 22% | .44% |
| Overige | 7654 | 84% | 90% | 1.44% |
| Wereld | 9110 | 100% | 72% | 1.21% |

| | Energiegebruik | | groei per jaar | | per inwoner | | |
|-----------|----------------|----------|----------------|--------|-------------|----------------|--------|
| | mld ske | relatief | | | mld ske | groei per jaar | |
| OECD | 406 | 10% | -92% | -5.43% | .43 | -93% | -5.84% |
| OE en GOS | 227 | 6% | -91% | -5.21% | .43 | -93% | -5.78% |
| Overige | 3329 | 84% | 40% | .76% | .43 | -26% | -.67% |
| Wereld | 3962 | 100% | -60% | -2.02% | .43 | -77% | -3.24% |

| | BNP | | groei per jaar | | BNP per inwoner | | |
|-----------|---------|----------|----------------|-------|-----------------|----------------|-------|
| | \$ 1980 | relatief | | | \$ 1980 | groei per jaar | |
| OECD | 12309 | 45% | 22% | .45% | 13.2 | 9% | .19% |
| OE en GOS | 1740 | 6% | 34% | .65% | 3.3 | 10% | .21% |
| Overige | 13579 | 49% | 325% | 3.27% | 1.8 | 124% | 1.79% |
| Wereld | 27628 | 100% | 90% | 1.43% | 3.0 | 10% | .21% |

| | BNP per inwoner tov OECD | | | BNP per ton ske | | |
|-----------|--------------------------|-------|------|-----------------|----------------|-------|
| | | groei | 1990 | | groei per jaar | |
| OECD | 1.00 | | 1.00 | 30.3 | 1408% | 6.03% |
| OE en GOS | .25 | 1% | .25 | 7.7 | 1382% | 5.99% |
| Overige | .13 | 106% | .07 | 4.1 | 203% | 2.46% |
| Wereld | .23 | 1% | .23 | 7.0 | 374% | 3.46% |

UITGANGSPUNTEN

| | | |
|-----------------------|----------|-------------------|
| Periode vanaf 1990 | 45 jaar | (tussen 35 en 60) |
| Bevolkingsgroei | 2 midden | |
| Wereld energiegebruik | 225 % | van huidig niveau |
| Energiegebruik/inw. | | |
| OECD/Overig | 5 | (nu factor 10,8) |
| NME/Overig | 3 | (nu factor 10,5) |
| Productiviteitsgroei | | |
| OECD | 2 %/jaar | |
| NME en overig | 2 %/jaar | |
| Energie-elasticiteit | | |
| van de productie | .21 | |

RESULTATEN

| | Bevolking | | groei per jaar | |
|-----------|-----------|----------|----------------|-------|
| | miljoen | relatief | | |
| OECD | 934 | 10% | 12% | .25% |
| OE en GOS | 522 | 6% | 22% | .44% |
| Overige | 7654 | 84% | 90% | 1.44% |
| Wereld | 9110 | 100% | 72% | 1.21% |

| | Energiegebruik | | groei per jaar | | per inwoner | |
|-----------|----------------|----------|----------------|-------|-------------|----------------|
| | mld ske | relatief | | | mld ske | groei per jaar |
| OECD | 7492 | 34% | 49% | .90% | 8.02 | 33% .64% |
| OE en GOS | 2513 | 11% | 0% | .00% | 4.81 | -18% -.44% |
| Overige | 12282 | 55% | 418% | 3.72% | 1.60 | 173% 2.23% |
| Wereld | 22287 | 100% | 125% | 1.82% | 2.45 | 31% .60% |

| | BNP | | groei per jaar | | BNP per inwoner | |
|-----------|---------|----------|----------------|-------|-----------------|----------------|
| | \$ 1980 | relatief | | | \$ 1980 | groei per jaar |
| OECD | 29526 | 57% | 193% | 2.42% | 31.6 | 161% 2.13% |
| OE en GOS | 3739 | 7% | 187% | 2.37% | 7.2 | 136% 1.91% |
| Overige | 18411 | 36% | 477% | 3.97% | 2.4 | 204% 2.47% |
| Wereld | 51676 | 100% | 255% | 2.85% | 5.7 | 106% 1.61% |

| | BNP per inwoner tov OECD | | | BNP per ton ske | | |
|-----------|--------------------------|-------|------|-----------------|----------------|-------|
| | 1.00 | groei | 1990 | 3.9 | groei per jaar | |
| OECD | 1.00 | | 1.00 | 3.9 | 96% | 1.50% |
| OE en GOS | .23 | -10% | .25 | 1.5 | 188% | 2.35% |
| Overige | .08 | 16% | .07 | 1.5 | 11% | .24% |
| Wereld | .18 | -21% | .23 | 2.3 | 58% | 1.01% |

UITGANGSPUNTEN

| | |
|---------------------------------------|---------------------------|
| Periode vanaf 1990 | 60 jaar (tussen 35 en 60) |
| Bevolkingsgroei | 2 midden |
| Wereld energiegebruik | 200 % van huidig niveau |
| Energiegebruik/inw. | |
| OECD/Overig | 2.5 (nu factor 10,8) |
| NME/Overig | 1.5 (nu factor 10,5) |
| Productiviteitsgroei | |
| OECD | 2 %/jaar |
| NME en overig | 2 %/jaar |
| Energie-elasticiteit van de productie | .21 |

RESULTATEN

| | | Bevolking | | groei per jaar | | | | |
|-----------|-------|--------------------------|----------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|--|
| | | miljoen | relatief | | | | | |
| OECD | 933 | 9% | 12% | .19% | | | | |
| OE en GOS | 546 | 5% | 27% | .40% | | | | |
| Overige | 8540 | 85% | 112% | 1.26% | | | | |
| Wereld | 10019 | 100% | 89% | 1.07% | | | | |
| | | Energiegebruik | | groei per jaar | | per inwoner | | |
| | | mld ske | relatief | | | mld ske | groei per jaar | |
| OECD | 3951 | 20% | -21% | -.40% | 4.24 | -30% | -.59% | |
| OE en GOS | 1389 | 7% | -45% | -.99% | 2.54 | -57% | -1.39% | |
| Overige | 14471 | 73% | 510% | 3.06% | 1.69 | 188% | 1.76% | |
| Wereld | 19810 | 100% | 100% | 1.16% | 1.98 | 6% | .09% | |
| | | BNP | | groei per jaar | | BNP per inwoner | | |
| | | \$ 1980 | relatief | | | \$ 1980 | groei per jaar | |
| OECD | 34810 | 52% | 245% | 2.09% | 37.3 | 208% | 1.88% | |
| OE en GOS | 4617 | 7% | 255% | 2.13% | 8.5 | 178% | 1.71% | |
| Overige | 28048 | 42% | 778% | 3.69% | 3.3 | 315% | 2.37% | |
| Wereld | 67476 | 100% | 363% | 2.59% | 6.7 | 145% | 1.49% | |
| | | BNP per inwoner tov OECD | | | BNP per ton ske | | | |
| | | 1.00 | groei | 1990 | 8.8 | groei per jaar | | |
| OECD | 1.00 | | | 1.00 | 338% | 2.46% | | |
| OE en GOS | .23 | -10% | .25 | | 3.3 | 543% | | |
| Overige | .09 | 34% | .07 | | 1.9 | 44% | | |
| Wereld | .18 | -21% | .23 | | 3.4 | 131% | | |
| | | | | | | 1.40% | | |

UITGANGSPUNTEN

| | | |
|-----------------------|------------|-------------------|
| Periode vanaf 1990 | 45 jaar | (tussen 35 en 60) |
| Bevolkingsgroei | 2 midden | |
| Wereld energiegebruik | 40 % | van huidig niveau |
| Energiegebruik/inw. | | |
| OECD/Overig | 1 | (nu factor 10,8) |
| NME/Overig | 1 | (nu factor 10,5) |
| Productiviteitsgroei | | |
| OECD | 2.5 %/jaar | |
| NME en overig | 2.5 %/jaar | |
| Energie-elasticiteit | | |
| van de productie | .11 | |

RESULTATEN

| | Bevolking | | groei per jaar | |
|-----------|-----------|----------|----------------|-------|
| | miljoen | relatief | | |
| OECD | 934 | 10% | 12% | .25% |
| OE en GOS | 522 | 6% | 22% | .44% |
| Overige | 7654 | 84% | 90% | 1.44% |
| Wereld | 9110 | 100% | 72% | 1.21% |

| | Energiegebruik | | groei per jaar | | per inwoner | | |
|-----------|----------------|----------|----------------|--------|-------------|----------------|--------|
| | mld ske | relatief | | | mld ske | groei per jaar | |
| OECD | 406 | 10% | -92% | -5.43% | .43 | -93% | -5.84% |
| OE en GOS | 227 | 6% | -91% | -5.21% | .43 | -93% | -5.78% |
| Overige | 3329 | 84% | 40% | .76% | .43 | -26% | -.67% |
| Wereld | 3962 | 100% | -60% | -2.02% | .43 | -77% | -3.24% |

| | BNP | | groei per jaar | | BNP per inwoner | | |
|-----------|---------|----------|----------------|-------|-----------------|----------------|-------|
| | \$ 1980 | relatief | | | \$ 1980 | groei per jaar | |
| OECD | 26075 | 55% | 159% | 2.13% | 27.9 | 131% | 1.86% |
| OE en GOS | 3666 | 8% | 182% | 2.33% | 7.0 | 131% | 1.86% |
| Overige | 18067 | 38% | 466% | 3.93% | 2.4 | 198% | 2.43% |
| Wereld | 47808 | 100% | 228% | 2.68% | 5.2 | 91% | 1.43% |

| | BNP per inwoner tov OECD | | | BNP per ton ske | | |
|-----------|--------------------------|-------|------|-----------------|----------------|-------|
| | | groei | 1990 | | groei per jaar | |
| OECD | 1.00 | | 1.00 | 64.2 | 3095% | 7.70% |
| OE en GOS | .25 | 0% | .25 | 16.1 | 3022% | 7.65% |
| Overige | .08 | 29% | .07 | 5.4 | 303% | 3.10% |
| Wereld | .19 | -17% | .23 | 12.1 | 720% | 4.68% |

UITGANGSPUNTEN

| | | |
|---------------------------------------|------------|-------------------|
| Periode vanaf 1990 | 45 jaar | (tussen 35 en 60) |
| Bevolkingsgroei | 2 midden | |
| Wereld energiegebruik | 40 % | van huidig niveau |
| Energiegebruik/inw. | | |
| OECD/Overig | 1 | (nu factor 10,8) |
| NME/Overig | 1 | (nu factor 10,5) |
| Productiviteitsgroei | | |
| OECD | 1.5 %/jaar | |
| NME en overig | 1.5 %/jaar | |
| Energie-elasticiteit van de productie | .31 | |

RESULTATEN

| | Bevolking | | groei per jaar | |
|-----------|-----------|----------|----------------|-------|
| | miljoen | relatief | | |
| OECD | 934 | 10% | 12% | .25% |
| OE en GOS | 522 | 6% | 22% | .44% |
| Overige | 7654 | 84% | 90% | 1.44% |
| Wereld | 9110 | 100% | 72% | 1.21% |

| | Energiegebruik | | groei per jaar | | per inwoner | | |
|-----------|----------------|----------|----------------|--------|-------------|----------------|--------|
| | mld ske | relatief | | | mld ske | groei per jaar | |
| OECD | 406 | 10% | -92% | -5.43% | .43 | -93% | -5.84% |
| OE en GOS | 227 | 6% | -91% | -5.21% | .43 | -93% | -5.78% |
| Overige | 3329 | 84% | 40% | .76% | .43 | -26% | -.67% |
| Wereld | 3962 | 100% | -60% | -2.02% | .43 | -77% | -3.24% |

| | BNP | | groei per jaar | | BNP per inwoner | | |
|-----------|---------|----------|----------------|-------|-----------------|----------------|-------|
| | \$ 1980 | relatief | | | \$ 1980 | groei per jaar | |
| OECD | 9829 | 45% | -2% | -.06% | 10.5 | -13% | -.31% |
| OE en GOS | 1389 | 6% | 7% | .14% | 2.7 | -12% | -.29% |
| Overige | 10843 | 49% | 240% | 2.75% | 1.4 | 79% | 1.29% |
| Wereld | 22061 | 100% | 51% | .93% | 2.4 | -12% | -.29% |

| | BNP per inwoner tov OECD | | | BNP per ton ske | | |
|-----------|--------------------------|-------|------|-----------------|----------------|-------|
| | | groei | 1990 | | groei per jaar | |
| OECD | 1.00 | | 1.00 | 24.2 | 1104% | 5.53% |
| OE en GOS | .25 | 1% | .25 | 6.1 | 1083% | 5.49% |
| Overige | .13 | 106% | .07 | 3.3 | 142% | 1.96% |
| Wereld | .23 | 1% | .23 | 5.6 | 276% | 2.96% |