

## Risk Management Research for the Financial Industry

De Universiteit Antwerpen - UFSIA organiseert een reeks van zes lezingen in het kader van de Leerstoel *Risk Management Research for the Financial Industry*, in samenwerking met Deloitte & Touche Bedrijfsrevisoren.

Het doel van de Leerstoel is inzichten in het gebied van financieel risicobeheer te ontwikkelen ten behoeve van professionelen uit de financiële sector.

Het programma is gedurende 1998-99 aan zijn tweede jaargang toe en start in november 1998.

### PROGRAMMA 1998 - 1999

- **Systemic Risk, the Asia Crisis and Implications for Financial Institutions**  
[spreker nog niet gekend]
- **Volatility Measurement and Management**  
Prof. dr. Robert Engle (University of San Diego, VS) [onder voorbehoud]
- **Extreme Value Theory and Value-at-Risk**  
Prof. dr. Casper de Vries (Erasmus Universiteit Rotterdam, NL)
- **Loan Portfolio Management**  
Prof. dr. Joel Bessis (HEC School of Management, FR)
- **Asset Securitisation**  
Deloitte & Touche (BE)
- **Risk Management and Value-at-Risk**  
Prof. dr. Kevin Dowd (University of Sheffield, VK)

### PRAKTISCH

Plaats: UFSIA, Hof van Liere, Prinsstraat 13, 2000 Antwerpen  
Tijdstip: 18.00 - 20.00 u., receptie 20.00 u.  
Prijs: 2.000 BEF per lezing, 10.000 BEF voor 6 lezingen (documentatie inbegrepen)

### INLICHTINGEN

Een persoonlijke uitnodiging en verdere informatie kan aangevraagd worden bij :

UFSIA, Secretariaat TEW, Prinsstraat 13, 2000 ANTWERPEN  
Tel.: 03/220.40.67 of 40.68 (Annemie Pattyn) • Fax: 03/220.47.99  
email: annemie.pattyn@ufsia.ac.be



UNIVERSITEIT ANTWERPEN

UFSIA in samenwerking met

**Deloitte &  
Touche**



Cees Withagen \*

## Groen en duurzaam nationaal inkomen

*Trefwoorden:* groen nationaal inkomen; duurzaamheid; economische groei

*Duurzame ontwikkeling is een doelstelling van economisch beleid die wereldwijd wordt omarmd. Het is echter niet geheel duidelijk wat dit begrip precies betekent. Eevenmin is duidelijk hoe de doelstelling van duurzame ontwikkeling kan worden gerealiseerd. Er bestaat in elk geval grote behoefte aan geïntegreerde indicatoren, die een maat kunnen vormen voor de duurzaamheid van de economische ontwikkeling. In de literatuur wordt veel aandacht geschonken aan geaggregeerde maatstaven als duurzaam en groen nationaal inkomen. In het onderhavige artikel wordt nagegaan of er voldoende theoretische basis bestaat voor de verdere ontwikkeling en de praktische toepasbaarheid van dergelijke indicatoren.*

## Inleiding

Veel landen in de wereld kennen momenteel een periode van economische voorspoed. De groeicijfers van het volume van het binnenlands product in de OESO bedragen 2 à 3% in de afgelopen vier jaren (zie OECD, 1997), en ook andere regio's gaat het economisch voor de wind. Toch zijn er geluiden te horen die economische groei, uitgedrukt in een toename van het nationaal product, ter discussie stellen.

\* Vrije Universiteit Amsterdam en Katholieke Universiteit Brabant

De auteur wenst twee anonieme referenten en Jeroen van den Bergh te bedanken voor hun welkome aan- en opmerkingen bij een eerste versie van dit artikel. De auteur neemt alle verantwoordelijkheid voor eventuele fouten op zich.

Economisch en Sociaal Tijdschrift, 1998/3, blz. 371-401

Bij het gangbare nationale inkomen als maatstaf van economische voor-spoed valt een groot aantal vraagtekens te zetten. Enkele kanttekeningen zijn al lang bekend en behoren tot het gemeengoed van de econoom. Een belangrijke bijdrage hieraan is geleverd door Nordhaus en Tobin (1972). Te denken valt aan huishoudelijk werk dat niet in geld gewaardeerd wordt, aan het feit dat vrije tijd in deze maatstaf voor welvaart niet meegeteld wordt en aan het opnemen van zogenaamde instrumentele uitgaven, zoals bijvoorbeeld het woon-werkverkeer. Andere problemen bij de interpretatie van het nationale inkomen als welvaartsmaatstaf zijn wellicht minder bekend en ook meer controversieel. Zij liggen op het terrein van milieu en uitputting van grondstoffen. In ontwikkelingslanden wordt de welvaart voor een groot deel bepaald door de exploitatie van uitputbare en/of vernieuwbare natuurlijke hulpbronnen. Het gevolg van het exploiteren van een zekere hoeveelheid uit een niet-vernieuwbare hulpbron is dat de voorraad afneemt en er in de toekomst dus minder inkomen aan de hulpbron kan worden ontleend. Een hoog nationaal inkomen in het heden gaat zo ten koste van het toekomstige inkomen. Iets dergelijks geldt voor een vernieuwbare natuurlijke hulpbron, denk aan bossen, indien de exploitatiesnelheid het regeneratieve vermogen overstijgt. Andere voorbeelden hebben betrekking op milieu-vervuiling. Als twee landen, die in een bepaald jaar eenzelfde nationaal inkomen hebben, met elkaar worden vergeleken en het enige verschil is dat het ene land op een erg vervuilende wijze heeft geproduceerd en het andere land het nationaal product met een schone technologie heeft voortgebracht, zal men geneigd zijn het eerste land een lagere welvaart toe te schrijven, omdat vervuiling het welbevinden van de huidige generatie aantast. Indien het gaat om vervuiling die accumuleert en als zodanig schadelijk is, worden toekomstige generaties de dupe.

In het licht van deze kanttekeningen is de behoefte ontstaan om een groen nationaal inkomen te ontwikkelen. Bij de berekening van het groene nationale inkomen worden de kosten meegenomen die vervuiling en het uitputten van grondstofvoorraden met zich meebrengen. Het doel dat hiermee wordt nagestreefd is dat er aan een bredere welvaartsopvatting recht wordt gedaan. Dit wordt kernachtig verwoord door Chichilnisky (1994): "If a politician's re-election depends on the measure of national economic growth, and it often does, green accounting could be helpful in reorienting environmental policy". Met andere woorden, groei van het nationale inkomen is pas een indicator van economisch succes indien milieuaspecten voldoende in het nationale inkomen tot uitdrukking komen. De Commissie van de Europese Gemeenschappen

(1994) heeft richtsnoeren uitgegeven voor de EU "inzake milieu-indicatoren en een groene nationale boekhouding". In de betreffende brief aan de Raad en het Europese Parlement wordt onder andere verwezen naar het vijfde milieuoactieprogramma, waarin een hoge prioriteit wordt toegekend aan "de benutting en uitbreiding van de capaciteit van het Europese statistisch systeem en van de daarmee opgedane ervaring zodat regelmatig voor het milieu relevante statistieken kunnen worden geproduceerd die vergelijkbaar zijn en aansluiten bij de traditionele officiële statistieken op economisch en sociaal gebied". Ook wordt genoemd "de uitbreiding en aanpassing op basis van onderzoek op nationaal en Europees niveau, inclusief aanpassing van economische basisindicatoren, zoals het BNP, ten einde daarin de waarde van natuurlijke en milieurijsdommen (...) uit te drukken en daarin milieuverliezen en -schade te verwerken op basis van toegekende monetaire waarden". Op nationaal niveau is aan de oproep van de Commissie gehoor gegeven, bijvoorbeeld in Nederland met het opzetten van NAMEA (National Accounting Matrix including Environmental Accounts) (zie Keuning, 1996; De Haan en Keuning, 1996). In Nederland is tevens een Discussieplatform "Monetariseren van Milieuverliezen" ingesteld, dat zich met name gebogen heeft over waarderingsmethoden (zie Discussieplatform, 1997). Ook in andere landen worden studies in het licht van de EU-doelstelling verricht. Het is niet de bedoeling dat het groene nationale inkomen in de plaats van het conventionele nationale inkomen zal worden gesteld. De Commissie is zich bewust van problemen die zich kunnen voordoen. Zij stelt (Commissie van de Europese Gemeenschappen, 1994, blz. 6) dat "de ontwikkeling van een 'groen' BNP, een aantal moeilijke problemen van methodologische aard met zich [meebrengt], waardoor het in de nabije toekomst geen realistische optie is". De gedachten gaan veeleer uit naar het naast elkaar zetten van beide inkomens.

Een andere tendens is om een maatstaf te vinden voor duurzame ontwikkeling. Sommigen zien mogelijkheden om een wederom gecorrigeerd nationaal inkomen te ontwikkelen dat daaraan tegemoet komt. Duurzaamheid kan op verschillende wijzen gestalte krijgen, bijvoorbeeld door het opleggen van zogenaamde duurzaamheidsnormen, zoals een maximum aan de uitstoot van bepaalde vervuilende stoffen, of door het hanteren van een egalitair welvaartsbegrip. Op de precieze uitwerking komen wij hieronder terug. Op dit terrein is belangrijk werk verricht door Hueting (1989), Hueting et al. (1992 en 1995), Repetto et al. (1989), Bartelmus (1994) en Bartelmus et al. (1991). Deze laatsten brengen

naar voren dat er "[bestaan, C.W.] doubts about the usefulness of conventional account data for the measurement of long-run sustainable growth" en willen zogeheten "modified indicators" ontwikkelen. Deze indicatoren komen dan tot stand door het aanbrengen van correcties op het traditionele nationale inkomen.

Op de terreinen die hierboven aan de orde zijn gesteld, wordt zowel gewerkt door theoretici als door degenen die er primair op uit zijn om het groene of duurzame nationale inkomen daadwerkelijk te berekenen. Helaas moet worden vastgesteld dat er weinig interactie tussen de beide groepen bestaat; waardoor misverstanden kunnen ontstaan die het bereiken van het doel wellicht bemoeilijken. Voor het gebrek aan interactie valt wel een verklaring te geven. Enerzijds is de onderliggende economische theorie nogal abstract en wordt zij doorgaans mathematisch geformuleerd, hetgeen voor sommigen de begrijpelijkheid niet bevordert. Anderzijds hebben theoretici niet altijd voldoende oog voor de problemen waarmee het vergaren van data gepaard gaat. Verder zijn er ook fundamentele verschillen van inzicht. In dit artikel zal gepoogd worden om de theoretische fundering van het groene en het duurzame nationale inkomen op een niet-technische wijze gestalte te geven. Tevens zullen de beperkingen die de economische theorie aan de validiteit van het nationale inkomen als maatstaf oplegt, besproken worden.

## 1. Welvaart en economische ontwikkeling: het één-sector-groeimodel

### A. Inleiding

In de kanttekeningen die in de inleiding gemaakt zijn bij het conventionele nationale inkomen als welvaartsmaatstaf, spelen dynamische aspecten een belangrijke rol. De economische literatuur over groen nationaal inkomen behelst dan ook vooral intertemporele modellen van de economie. De belangrijkste bestanddelen van de theorie vallen te illustreren aan de hand van een eenvoudig éénsectormodel, waarvan Ramsey (1928) als de grondlegger valt te beschouwen. Het is verder uitgewerkt door Solow (1956). Eerst zal een korte bespreking aan een vereenvoudigde versie van het model worden gewijd (zie Blanchard en Fisher, 1989 voor een uitgebreide behandeling). Daarna zal een meer algemene

aanpak worden behandeld. Deze zal dienen als het kader voor de analyse in de volgende paragrafen

Het model betreft een zeer gestileerde beschrijving van een economie. Er zijn slechts twee goederen aanwezig, namelijk arbeid en een samengesteld goed. Het laatste goed kan dienst doen als kapitaalgoed in de productie en als consumptiegoed. Wij nemen aan dat de bevolking constant over de tijd is. De consumenten ontlenen geen welvaart aan vrije tijd, zodat het aanbod van arbeid als inelastisch valt te beschouwen. Het aanbod van arbeid wordt ook constant verondersteld. Voor het welbevinden van de consumenten is uitsluitend de consumptie van het samengestelde goed van belang. Tevens is een consument die in een bepaalde periode of op een bepaald moment leeft, alleen geïnteresseerd in de eigen consumptie en niet in die van anderen, voorouders, tijdgenoten dan wel nakomelingen. De productiemogelijkheden in de economie worden gegeven door een productiefunctie, waarin arbeid en kapitaal als inputs voorkomen. Omdat arbeid constant is, wordt deze niet expliciet als argument in de productiefunctie opgenomen. Wij zien voor de eenvoud voorlopig af van technische vooruitgang. Met behulp van het model kunnen twee vragen worden bestudeerd die voor het vervolg van belang zijn. In de eerste plaats kan men zich afvragen hoe de productie en de consumptie optimaal over de tijd kunnen worden gealloceerd. In de tweede plaats is er het vraagstuk of de optimale ontwikkeling van de economie in een gedecentraliseerd kader kan of zal worden gerealiseerd.

De eerste vraag kan onmogelijk beantwoord worden zonder een duidelijke definitie van het begrip *optimaal*. Wij willen niet te diep ingaan op dit aspect van de welvaartstheorie. Daarom wordt volstaan met een korte schets van een drietal verschillende opties.

- In de eerste plaats kan het begrip *optimaliteit* omschreven worden in de *utilitaristische* zin. De maatschappelijke welvaart op een bepaald moment (instantane welvaart) is de (eventueel gewogen) som van de welvaart van alle individuen die op dat moment leven. De welvaart heet intertemporeel optimaal indien de som van de welvaart van alle generaties maximaal is, waarbij al dan niet naar het heden wordt ge-disconteerd met behulp van een tijdsvoorkeursoet. Op ethische kwesties met betrekking tot disconteren gaan wij hier niet in.
- Een tweede visie op welvaart is gebaseerd op het werk van Rawls (1972). In een atemporeel kader behelst deze opvatting het maximaliseren van het minimale welbevinden van de individuen. Dit komt neer op een *egalitaire* behandeling. De uitbreiding naar een intertem-

poreel kader ligt voor de hand (hoewel Rawls deze uitbreiding niet zelf heeft gegeven): de welvaart is dan maximaal als het welbevinden binnen en over alle generaties gelijk is. Deze opzet leidt soms tot ongewenste uitkomsten. In het geval bijvoorbeeld van een cake die over oneindig veel identieke generaties verdeeld moet worden, krijgt niemand iets, hetgeen niet Pareto-efficiënt is. Verder zou dit criterium er toe kunnen leiden, zoals later zal blijken, dat een deel van de kapitaal-goederen voorraad nimmer gebruikt wordt.

- Daarom wordt ook wel als variant op het tweede criterium de eis gesteld dat de welvaart van generaties in de tijd in elk geval niet mag dalen (Pezzey, 1995). Dit is de derde mogelijkheid, die ook wel wordt aangeduid met "opsustimality".

De tweede vraag betreft de implementatie van het optimum in een markteconomie. Het antwoord hangt mede af van het welvaartsbegrip dat wordt gehanteerd. Wij komen hier in beide volgende deelsecties op terug.

## B. Utilitarisme

Beschouwen wij nu eerst de uitwerking van het utilitaristische welvaartsbegrip. De tijd wordt als een continue variabele opgevat. Er wordt van uitgegaan dat de economie een oneindige horizon heeft. Verder wordt aangenomen dat alle individuen identieke preferenties hebben. Deze worden weergegeven door de nutsfunctie  $U$  die een functie is van de consumptie, aangeduid met  $C(t)$  voor tijdstip  $t$ . De hoeveelheid kapitaal die op zeker moment  $t$  in de economie aanwezig is, wordt aangeduid met  $K(t)$  en de productiefunctie is  $F$ . Op elk moment wordt een constant deel  $\mu$  van de bestaande kapitaalgoederen voorraad afgeschreven. Er wordt aangenomen dat de nutsfunctie  $U$  en de productiefunctie  $F$  prettige eigenschappen bezitten, zoals continuïteit en strikte concaviteit. Met een punt boven een variabele wordt de verandering van die variabele in de tijd aangegeven. Er geldt dus voor de netto-investeringen ( $\dot{K}$ ) op elk moment  $t$

$$(1) \quad \dot{K}(t) = F(K(t)) - \mu K(t) - C(t)$$

De doelstellingsfunctie kan weergegeven worden als

$$(2) \quad W[C] = \int_0^{\infty} e^{-\rho t} U(C(t)) dt$$

waarin  $\rho$  de (constante en positieve) tijdsvoorkeurvoet aangeeft, waarmee de welvaart van toekomstige generaties wordt gewogen. De bovenstaande formulering correspondeert met de gewogen som van de welvaart van de huidige en toekomstige generaties, die alle van gelijke omvang zijn.

Het valt buiten het kader van dit artikel om in detail te treden over de oplossing van het bovenstaande probleem. Wij beperken ons tot een korte schets van enige resultaten die voor het leggen van het verband tussen welvaart en nationaal inkomen van belang zijn. Een centraal begrip is de *Hamiltoniaan*. Deze is vergelijkbaar met de *Lagrangiaan* uit de statische optimaliseringstheorie (zie ook de appendix). De Hamiltoniaan is gedefinieerd als:

$$(3) \quad H(K, C, t, \lambda) = e^{-\rho t} U(C) + \lambda [F(K) - \mu K - C] = e^{-\rho t} U(C) + \lambda \tilde{K}$$

De Hamiltoniaan bestaat uit de som van de instantane verdisconteerde welvaartsfunctie en de investeringen, voorzien van een bepaald gewicht,  $\lambda$ . De variabele  $\lambda$  zullen wij de schaduwprijs van kapitaal noemen. Optimale waarden zullen steeds worden aangeduid met dakjes. Het zogeheten maximumprincipe van Pontryagin, dat noodzakelijke voorwaarden geeft voor de oplossing van het probleem, zegt nu onder andere dat er een functie  $\tilde{K}$  bestaat zodanig dat  $\tilde{C}$  op elk moment de Hamiltoniaan maximaliseert, gegeven de waarden die  $\tilde{K}$  en  $\tilde{K}$  op dat moment aannemen (zie de appendix voor een verdere uiteenzetting). De waarde van  $\tilde{K}$  is de waarde die gehecht wordt aan een vergroting van de kapitaalgoederen voorraad op dat moment in termen van de instantane welvaart, met andere woorden, de schaduwprijs geeft aan hoeveel welvaart (gemeten in eenheden  $U$ ) de economie bereid is op te offeren teneinde een marginale additionele eenheid kapitaal te verwerven. Dit geeft al aan dat de Hamiltoniaan een maatstaf vormt voor de welvaart. Verder geldt onder milde voorwaarden dat de totale afgeleide van de Hamiltoniaan met betrekking tot de tijd gelijk is aan de partiële afgeleide met betrekking tot de tijd (zie bijvoorbeeld Seierstad en Sydsaeter, 1987). Dat levert de volgende vergelijking:

$$(4) \quad dH/dt = -\rho e^{-\rho t} U(\tilde{C}(t))$$

Voor het geval van een positieve tijdsvoorkeurvoet kan worden aangetoond dat de waarde van de Hamiltoniaan naar nul gaat als de tijd naar oneindig gaat. Immers, de consumptie en de kapitaalgoederen voorraad

naderen tot constanten (zie ook Michel, 1982). Integratie van de uitdrukkingen in vergelijking (4) laat zien dat in het optimum de waarde van de Hamiltoniaan evenredig is (met evenredigheidsfactor  $\rho$ ) met de optimale toekomstige welvaart, gezien vanaf het begin van de planperiode. In symbolen (met  $H(0)$  de optimale waarde van de Hamiltoniaan op moment 0):

$$(5) \quad H(0) = \int_0^{\infty} \rho e^{-\rho t} U(\hat{C}(t)) dt$$

Hiermee is het optimum voorlopig voldoende gekarakteriseerd.

De vraag die vervolgens aan de orde gesteld wordt, is of het zojuist besproken sociale optimum in een economie met gedecentraliseerde besluitvorming ook daadwerkelijk gerealiseerd wordt. Onder een aantal voorwaarden is dit het geval (zie ook Blanchard en Fisher, 1989). Deze voorwaarden zijn niet triviaal. Onder andere moeten er markten bestaan voor alle toekomstige goederen. Maar als we aannemen dat aan de bedoelde voorwaarden is voldaan, dan kan er een interessante relatie gelegd worden tussen het nationale inkomen en de toekomstige welvaart. In dat geval immers vallen de (optimale) schaduw prijzen samen met de actuele prijzen in de economie. Indien dat om een of andere reden niet het geval zou zijn, bijvoorbeeld vanwege het bestaan van publieke goederen, dan kan de overheid door middel van belastingheffing de prijzen beïnvloeden en de economie in de juiste richting sturen.

Bezien wij de Hamiltoniaan (vergelijking (3)) voor een zeker moment  $t$ , dan bestaat die uit de instantane welvaart (naar tijdstip 0 gediscoteerd), vermeerderd met de waarde van de investeringen. Als de nutsfunctie de identiteit is ( $U(C) \equiv C$ ), dan is de Hamiltoniaan gelijk aan de consumptie vermeerderd met de waarde van de netto-investeringen, en dus gelijk aan het conventionele netto nationale inkomen. Volgens formule (5) is dit ook de optimale totale toekomstige welvaart. Deze relatie is voor het eerst vastgesteld door Weitzman (1976). Hij heeft daarmee een welvaarts theoretische basis gesmeed voor het nationale inkomensbegrip: een hoger nationaal inkomen op zeker ogenblik stelt de economie in staat om een hogere welvaart te realiseren, omdat de waarde van de investeringen van het nationale inkomen deel uitmaakt. In het geval van een niet-lineaire instantane nutsfunctie wordt de nutsfunctie doorgaans gelineariseerd en wordt de schaduw prijs van kapitaal gewogen met het marginale nut van de consumptie. Wanneer er niet gelineariseerd wordt, kan worden gesproken over het nationale inkomen in nutstermen.

Samenvattend, als een economie een ontwikkeling volgt die overeenkomt met het optimale utilitaristische pad, dan is het netto nationale inkomen een maatstaf voor de toekomstige welvaart in de economie. Met andere woorden, als twee economieën, die dezelfde preferenties hebben, met elkaar vergeleken worden, dan heeft de economie met het hoogste netto nationale inkomen de beste vooruitzichten in termen van welvaart conform het utilitaristische criterium. In het hier besproken model van Solow/Ramsey is dit resultaat triviaal. Immers, een hoger nationaal product in de toekomst kan alleen verkregen worden door een hogere nettoproductie in het heden, omdat kapitaal in wezen de enige productiefactor is. Maar het ging hier in eerste instantie slechts om het introduceren van het begrip; later wordt gebruik gemaakt van het feit dat de gelijkheid ook in een algemener model geldt.

### C. Rawlsiaanse welvaart

Welvaart conform het Rawlsiaanse criterium is in de onderhavige context eenvoudig te analyseren. De economie streeft naar een maximaal constant consumptieniveau. Het spreekt vanzelf dat dit groter is naarmate het netto nationale product, bestaande uit de productie vermindert met de afschrijvingen, groter is. In het model is het netto nationale product maximaal indien  $F'(K) - \mu = 0$ . De oplossing van deze gelijkheid heet de "golden age"-kapitaalgoederenvoorraad. Het kan zijn dat de economie in een Rawlsiaans optimum niet de gehele kapitaalgoederenvoorraad zal gebruiken. De reden kan zijn dat er afnemende meeropbrengsten zijn, zodat het marginale nettoproduct van kapitaal negatief is bij een hoge initiële kapitaalgoederenvoorraad (vanwege het constante afschrijvingspercentage). In dat geval moet een deel van de beginvoorraad kapitaal ongebruikt blijven. Indien de beginvoorraad kleiner is dan die welke hoort bij de "golden age", dan blijft de economie op dat niveau steken. In sectie 5 wordt hierop nader ingegaan. Het egalitaire optimum zal in een gedecentraliseerde economie op de lange termijn gerealiseerd worden bij een constante consumptiequote. Immers, dan convergeert de kapitaalgoederenvoorraad naar die welke het netto nationale inkomen maximaliseert ("golden age"), wat de beginvoorraad kapitaal ook is. Maar zoals hierboven is aangetoond, vergt het Rawlsiaanse optimum in dit eenvoudige model een onmiddellijke aanpassing.

#### D. "Opsustimality"

Het verschijnsel dat kapitaal op een laag niveau blijft steken is niet bevredigend, omdat met enige inspanning in het heden een aanzienlijke welvaartsverbetering in de toekomst te behalen zou kunnen zijn. Hieraan komt het criterium van "opsustimality" tegemoet, door toe te laten dat de instantane welvaart in de loop van de tijd toeneemt (zie Pezzey, 1994a, 1994b en 1995 voor een verdere analyse).

#### 2. "Groen" nationaal inkomen: een eerste verkenning

De relatie die in de voorgaande sectie voor het model van Solow/Ramsey is gelegd tussen de waarde van de Hamiltoniaan, die correspondeert met welvaartsmaximalisatie, en de waarde van de toekomstige welvaart, kan worden veralgemeniseerd (zie Vellinga en Withagen, 1996). Zij geldt voor een willekeurig model, als tenminste de tijdsvoorkeurvoet constant is en er geen tijdsafhankelijkheden voorkomen, zoals exogene technische vooruitgang of bevolkingsgroei (de partiële afgeleide van de Hamiltoniaan naar de tijd wordt dan ingewikkelder dan in vergelijking (4), zodat vergelijking (5) niet langer opgaat). Op deze generalisatie zijn enige verdere ontwikkelingen bij toepassingen gebaseerd. In een meer algemeen kader zijn er willekeurig veel goederen. De Hamiltoniaan van het optimalisatieprobleem bevat nu niet alleen de instantane welvaart en de waarde van de investeringen in de kapitaalgoederenvoorraad van het (unieke) samengestelde goed, maar tevens de waarde van de investeringen in *alle* voorraden in de economie. Wij geven enige voorbeelden die op het terrein liggen van natuurlijke hulpbronnen en vervuiling. Daarbij beperken wij ons tot het welvaarts criterium volgens het utilitarisme. De term "groen nationaal inkomen" is voorbehouden aan het nationale inkomen, gecorrigeerd volgens dit welvaartsconcept. Vooraf dient te worden opgemerkt dat er in de te bespreken casussen veelal sprake is van externe effecten, zodat een economie met gedecentraliseerde besluitvorming geen welvaartsoptimum zal realiseren zonder verder ingrijpen door de overheid, bijvoorbeeld omdat er sprake is van vrije exploitatie van hulpbronnen of niet-geïnternaliseerde kosten van vervuiling. Wij nemen voorlopig aan dat deze problemen zich niet voordoen, of dat de overheid optimale Pigouvianse belastingen heft. In sectie 4 wordt hierop teruggekomen bij de bespreking van optimale belastingen.

*Uitputbare natuurlijke hulpbronnen (zie in dit verband ook Mäler, 1991)*

Wanneer een economie beschikt over een uitputbare natuurlijke hulpbron, dan behoort de voorraad van de hulpbron tot de voorraden in de economie. Een eenvoudig model dat hiermee rekening houdt, is het model van Dasgupta en Heal (zie Dasgupta en Heal, 1974). Daarin is er een uitputbare natuurlijke hulpbron (bijvoorbeeld olie) waarvan de omvang op tijdstip  $t$  wordt aangeduid met  $S(t)$  en waaruit een grondstof  $R(t)$  wordt onttrokken, die samen met kapitaal een input vormt in het productieproces van het consumptiegoed. Er geldt dus:

$$(6) \quad \dot{K}(t) = F(K(t), R(t)) - \mu K(t) - C(t)$$

$$(7) \quad \dot{S}(t) = -R(t), \quad R(t) \geq 0, \quad S(t) \geq 0$$

In het geval van "kostenloze" exploitatie maakt de waarde van de grondstoffen die op zeker moment gewonnen worden, deel uit van de Hamiltoniaan, overeenkomstig de hierboven uitgevoerde analyse. Immers, de voorraad neemt af met de hoeveelheden die gewonnen worden: dit zijn negatieve netto-investeringen. Er bestaat een schaduwprijs voor de natuurlijke hulpbron ( $\psi$ ) die aangeeft wat het de economie in termen van instantane welvaart waard is om een marginale eenheid meer van de grondstofvoorraad te bezitten. De Hamiltoniaan luidt:

$$(8) \quad H(K, S, R, C, t, \lambda, \psi) = e^{-\rho t} U(C) + \lambda \dot{K} + \psi \dot{S}$$

Wil dus het netto nationale inkomen een maatstaf zijn voor toekomstige welvaart, dan dient er een correctie op het conventionele nationale inkomen plaats te vinden ter grootte van de hoeveelheid grondstof die gewonnen wordt. Een belangrijke vraag die hierbij gesteld kan worden, is tegen welke prijs de winning moet worden gewaardeerd, met andere woorden wat een juiste afspiegeling is van de schaduwprijs  $\psi$ . Het is in de eerste plaats niet vanzelfsprekend dat een markteconomie, in afwezigheid van een volledige verzameling toekomstmarkten, een efficiënte winning van grondstoffen zal realiseren (zie bijvoorbeeld Dasgupta en Heal, 1979). Bovendien worden grondstofprijzen veelal gevormd op wereldmarkten, waar de economie onder beschouwing geen invloed bezit. De prijzen zijn voor de economie een gegeven, maar doorgaans niet constant. Hierdoor is er geen gelijkheid meer tussen de waarde van de Hamiltoniaan en de totale welvaart, zoals in vergelijking (5). Op dit probleem zal in sectie 3 worden teruggekomen.

Wanneer de grondstofwinning niet "kostenloos" geschiedt, dan verandert dit niets aan het uitgangspunt dat het gaat om een waardering van de verandering in de voorraden. In het geval dat de exploitatie van de grondstof de inzet vergt van (man-made) kapitaal, wordt de accumulatie van kapitaal daardoor beperkt, hetgeen een extra druk legt op het groene netto nationale product.

*Vernieuwbare natuurlijke hulpbronnen (zie in dit verband ook Hartwick, 1978; Mäler, 1991)*

Een tweede toepassing kan gevonden worden in de exploitatie van vernieuwbare natuurlijke hulpbronnen, zoals de visstand en bossen. Hiervoor moet een correctie op het conventionele inkomen worden aangebracht. Anders dan bij niet-vernieuwbare natuurlijke hulpbronnen gaat de exploitatie niet pro tanto ten koste van de bestaande voorraad. Bij een verantwoorde exploitatie is er in principe natuurlijke aanwas mogelijk. Niettemin zal een groen nationaal inkomen een negatieve correctie bevatten indien in een bepaald jaar de nettovoorraad is afgenomen. Ten aanzien van de prijzen waartegen de nettoveranderingen moeten worden gewaardeerd, doen zich dezelfde problemen voor als bij uitputbare natuurlijke hulpbronnen.

#### *Vervuiling zonder schoonmaak*

Grootheden die een toenemend gewicht in de schaal leggen in het welbevinden van economische agenten, zijn allerlei vormen van vervuiling. Hierbij valt te denken aan stroomgrootheden, zoals geluids- en stankoverlast, maar ook aan voorraadgrootheden, zoals de opeenhoping van verzurende stoffen en zware metalen in de bodem, CO<sub>2</sub> in de lucht en radioactiviteit.

Voorzover de bedoelde *stroomgrootheden* rechtstreeks ingrijpen op het welbevinden van de economische subjecten, komt dit tot uitdrukking in de nutsfunctie. Bij het corrigeren van het netto nationale inkomen wordt de nutsfunctie meestal gelineariseerd en wordt de omvang van de vervuiling gewogen met het marginale nut, dat uiteraard negatief is. In de praktijk stuit deze procedure op problemen. De waardering van de economische subjecten voor negatieve effecten, die hiervoor nodig is, is moeilijk te achterhalen, een in de economie welbekend probleem. Niettemin zijn er studies die pogingen in het werk stellen om deze verliezen in

geld uit te drukken. Voor een overzicht van de gehanteerde methoden verwijzen wij naar het rapport van het Discussieplatform Monetarisatie Milieuverliezen (1997), waarin een bespreking gewijd wordt aan methoden zoals contingent valuation, reiskostenmethode, hedonische prijzen en gebruikerskostenmethode. Wij gaan daar verder niet op in.

In het geval van vervuiling die belichaamd is in *voorraden*, behoren deze voorraden tot de kapitaalgoederenvoorraad van de economie in ruime zin. Zij dienen daarom te worden opgenomen in de Hamiltoniaan en het conventionele inkomen moet dienovereenkomstig worden aangepast. Dat kan aan de hand van een uitbreiding van het model van Solow/Ramsey zeer gestileerd worden geïllustreerd. Neem bijvoorbeeld aan dat de voorraad vervuiling ( $P$ ) in positieve zin (bijvoorbeeld evenredig) wordt beïnvloed door het productieniveau en dat de natuur een zelfreinigend vermogen heeft ter grootte van van een percentage  $\theta$  van de bestaande vervuilingssomvang. Dan geldt:

$$(9) \quad \dot{P}(t) = F(K(t)) - \theta P(t)$$

De Hamiltoniaan wordt:

$$(10) \quad H(K, P, C, t, \lambda, \tau) = e^{-\rho t} U(C, P) + \lambda \dot{K} + \tau \dot{P}$$

met  $\tau$  de (negatieve) schaduwprijs van de vervuiling. Wederom doen zich problemen bij de waardering voor. Bepaald moet immers worden hoeveel een marginale verhoging van de voorraad van een vervuilende stof bijdraagt aan de toekomstige welvaart. Voor vele vormen van vervuiling zal het nog lange tijd duren voordat hierin inzicht zal worden verworven, als dat überhaupt al mogelijk is. Het in de praktijk ontbreken van marktprijzen voor vervuiling is hieraan debet. Tevens moet rekening worden gehouden met het assimilatieve vermogen van de natuur; ook hierin ontbreekt voldoende inzicht.

#### *Vervuiling met schoonmaak*

Wanneer een economie beschikt over en gebruik maakt van een technologie om vervuiling als een stroom tegen te gaan, moet hiermee rekening worden gehouden bij de bepaling van het groene nationale inkomen. In dit verband kan gedacht worden aan preventieve maatregelen die een verslechtering van de milieukwaliteit voorkomen. Stel dat er in de economie een sector is die zich met deze schoonmaakactiviteiten bezig

houdt en daarmee toegevoegde waarde, in de conventionele zin, creëert. De additionele welvaart die het gevolg is van een schoner milieu, dient nu tot uitdrukking te komen in het nationale inkomen. Maar ten gevolge van de inzet van productiemiddelen die hiervoor nodig zijn, zal bijvoorbeeld de voorraad fysiek kapitaal minder stijgen, hetgeen weer een negatief effect op de totale welvaart zal hebben.

In het geval van vervuiling als een voorraadgrootte dient dezelfde handelwijze te worden gehanteerd. Bij wijze van voorbeeld beschouwen Aronsson et al. (1997) een situatie waarin gezondheid als een variabele voorkomt in de instantane nutsfunctie. De gezondheid wordt bepaald door de kwaliteit van het milieu en de hoeveelheid die de consumenten van een of ander goed opofferen voor het nemen van preventieve maatregelen. Het groene nationale inkomen (na linearisering) bestaat nu uit de waarde van de "gewone" consumptie, verminderd met de waarde van de opgeofferde hoeveelheid consumptie en vermeerderd met de waarde van de investeringen in fysiek kapitaal en de verandering in de vervuiling.

### 3. Groen nationaal inkomen: enige uitbreidingen

In deze sectie wordt de veronderstelling verlaten dat de economie stationair is. Tijdsafhankelijkheid wordt expliciet in de beschouwing betrokken. Tevens zullen enige opmerkingen worden gemaakt over onzekerheid.

In het systeem dat de economie beschrijft, kan tijd op verschillende wijzen als belangrijke factor voorkomen. In de literatuur is aandacht besteed aan een in de tijd variërende tijdsvoorkeurvoet, aan exogene technische vooruitgang en aan variërende wereldmarktprijzen. Deze zullen hier achtereenvolgens behandeld worden. Door de introductie van non-stationariteit wordt de analyse ingrijpend veranderd. Om dit in te zien keren we terug naar de afleiding van formule (5) in sectie 1. Wanneer het optimale besturingsmodel wordt opgezet langs de lijnen van deze sectie, dan blijft in het geval van niet-stationariteit gelden dat de totale tijdsafgeleide van de Hamiltoniaan van het probleem gelijk is aan de partiële tijdsafgeleide van de Hamiltoniaan. De partiële afgeleide heeft nu echter een ingewikkelder structuur dan voorheen, waardoor het oplossen van de verkregen differentiaalvergelijking aanmerkelijk bemoeilijkt wordt

De oplossing is bovendien moeilijker van een interpretatie te voorzien, zoals onder zal blijken.

#### A. Een niet-constante tijdsvoorkeurvoet

Wanneer de tijdsvoorkeurvoet  $\rho$  een functie van de tijd is, dan valt de discountfactor te schrijven als

$$(11) \quad \pi(t) \equiv e^{-\int_0^t \rho(s) ds}$$

De vergelijking die analoog aan vergelijking (5) kan worden afgeleid is:

$$(12) \quad H(0) = \int_0^{\infty} \rho(t) \pi(t) U(\hat{C}(t)) dt$$

De Hamiltoniaan is niet langer evenredig met de totale toekomstige welvaart. In het geval dat de tijdsvoorkeurvoet daalt in de tijd, bijvoorbeeld vanaf een waarde die gelijk is aan de constante waarde in het eenvoudige model van Solow/Ramsey, zou het werken met de Hamiltoniaan als netto nationaal inkomen een onderschatting van de toekomstige welvaart geven. Dus in het onderhavige geval is het eerder afgeleide resultaat niet langer geldig.

#### B. Exogene technische vooruitgang

Aan het verschijnsel van exogene technische vooruitgang is aandacht geschonken door Aronsson en Löfgren (1993) en Weitzman (1997). Het verschijnsel van *endogene* technische vooruitgang door middel van de accumulatie van "human capital" via scholing of "learning by doing" kan gemakkelijk in de eerder besproken aanpak verwerkt worden. Het gaat in deze paragraaf over *exogene* technische vooruitgang, die zich bijvoorbeeld manifesteert door een autonome groei van de arbeidsproductiviteit. Er kan worden aangetoond dat de Hamiltoniaan op een zeker moment gelijk is aan de toekomstige welvaart, voorvermenigvuldigd met de tijdsvoorkeurvoet  $\rho$ , zoals in vergelijking (5), maar daar moet nog een term van worden afgetrokken die gelijk is aan de totale gediscoteerde toekomstige waarde van de technische vooruitgang. Dit impliceert dat de waarde van de Hamiltoniaan een onderschatting is van de toekomstige welvaart. Dit valt ook intuïtief in te zien: de technische vooruitgang zal met name een bijdrage leveren aan de toekomstige welvaart. Voor de



praktijk van het meten van het groene nationale inkomen heeft deze vaststelling gevolgen. De informatie die nu nodig is om het groene nationale inkomen vast te stellen, heeft niet alleen betrekking op variabelen die in het heden waar te nemen zijn, maar ook is volledig inzicht nodig in de toekomstige technische ontwikkeling.

### C. Variërende marktprijzen

Sefton en Weale (1992 en 1996) en Vellinga en Withagen (1996) bespreken modellen van open economieën die een grondstof uit een uitputbare natuurlijke hulpbron verhandelen op een wereldmarkt. De landen zijn klein, waardoor de wereldmarktprijzen voor hen een gegeven zijn. Er wordt tevens een wereldmarkt voor kapitaal geïntroduceerd waar de rente de prijs vormt. Prijzen en rente kunnen variëren in de tijd. In de modellen moeten exporterende landen bepalen welke exploitatiesnelheid van de uitputbare natuurlijke hulpbron optimaal is vanuit een utilitaristisch gezichtspunt. Gegeven het feit dat de prijzen (inclusief de rente op kapitaal) niet constant zijn, is het probleem dat moet worden opgelost, wederom niet autonoom. Dit leidt tot een complexe uitdrukking die het verband legt tussen enerzijds de Hamiltoniaan, bestaande uit het instantane welbevinden en de waarde van de voorraden in handen van het land, en anderzijds de totale toekomstige welvaart. In deze relatie spelen de toekomstige rente en de toekomstige wereldmarktprijzen van de grondstoffen een belangrijke rol. De actuele prijzen leveren nu niet meer voldoende informatie, hetgeen leidt tot problemen bij de vaststelling van het groene nationale inkomen.

### D. Kosten-batenanalyse

De uitkomsten die hierboven zijn gepresenteerd, zijn niet hoopgevend. De eisen die aan de informatie gesteld worden om op verantwoorde wijze een groen nationaal inkomen te berekenen, zijn zeer hoog. Deze informatie behelst kennis van vaak onzekere toekomstige ontwikkelingen. Wij willen er in deze paragraaf op wijzen dat de besproken problemen minder ernstig worden indien de doelstelling van het onderzoek enigszins wordt afgezwakt. Het nationale inkomen kan naast de functie van vergelijkingsmaatstaf tussen economieën of van instrument om vast te stellen hoe groot de economische groei in een bepaald jaar is geweest, ook een functie in kosten-batenanalyses vervullen. Bij het maken van

een selectie uit (grootschalige) projecten, komt dan dat project als eerste voor uitvoering in aanmerking dat tot de grootste stijging van het nationale product leidt. De welvaartstheoretische fundering hiervoor is dezelfde als bij de bespreking van het groene nationale inkomen. Dasgupta en Mäler (1991 en 1993) besteden hieraan veel aandacht en geven regels om investeringsbeslissingen te nemen aan de hand van de veranderingen die optreden in het groene nationale inkomen (zie ook Johansson en Löfgren, 1994). Vellinga en Withagen (1996) hebben aangetoond dat de hierboven geuite bezwaren ten aanzien van de tijdsafhankelijkheid zich bij deze toepassing niet zullen voordoen als de exogene tijdsafhankelijkheid voor alle projecten hetzelfde is.

### E. Onzekerheid

Onzekerheid kan zich in de economie op vele wijzen manifesteren, zoals met betrekking tot de effecten en de ernst van vervuiling, ten aanzien van de omvang van grondstofvoorraden en de ontwikkeling van de technologie (hierbij valt te denken aan het moment waarop een "schone" technologie beschikbaar komt). Op dit gebied is nog weinig onderzoek verricht. Aronsson en Löfgren (1995a) beschouwen het model van Solow/Ramsey met exogene stochastische groei van de bevolking. Zij komen tot de bevinding dat de Hamiltoniaan proportioneel is met de totale *verwachte* toekomstige welvaart.

## 4. Distortionaire belastingen

Een belangrijke veronderstelling tot dusverre is dat de overheid, indien nodig, de economie door middel van Pigouviaanse belastingen kan sturen in de richting van het utilitaristische optimum. Zulk beleid is bijvoorbeeld gewenst in het geval van vervuiling. Pigouviaanse belastingheffing brengt bedrijven ertoe de negatieve externe effecten van vervuiling te internaliseren. Het is optimaal om de belastingopbrengsten "lump sum" naar de burgers terug te sluizen. Er moet echter worden vastgesteld dat Pigouviaanse belastingheffing in de praktijk niet altijd tot de mogelijkheden behoort. Tevens valt in de praktijk waar te nemen dat er distortionaire belastingen worden geheven, bijvoorbeeld op de factor arbeid. Men kan zich nu afvragen wat deze laatste vorm van belastingheffing voor gevolgen heeft voor de berekening van het groene

nationale inkomen. Onlangs heeft Aronsson (1996) aan dit onderwerp aandacht geschonken.

Hij beschouwt een dynamisch algemeen evenwichtsmodel waarin vervuiling voorkomt. Het model is geïntroduceerd door Brock (1977). De instantane welvaart hangt af van de consumptie van een privaat goed, van vrije tijd, van de consumptie van een publiek goed en van de omvang van de voorraad vervuiling. De private en de publieke consumptie worden voortgebracht door middel van arbeid, kapitaal en energie uit een fossiele brandstof, volgens een neoklassieke productiefunctie. De productie wordt gebruikt voor de accumulatie van kapitaal, voor de winning van energie en voor consumptie. De groei van de "voorraad" vervuiling is evenredig met het gebruik van energie, maar er is ook een zeker verval van de vervuiling dat proportioneel met de vervuiling verondersteld wordt. Volgens de methode die in sectie 2 is uiteengezet, kan het groene nationale inkomen berekend worden dat zou gelden indien de economie het utilitaristische optimum zou realiseren. In nutstermen gemeten bestaat dit uit het nut van de conventionele componenten, zoals private en publieke consumptie, en dat van vrije tijd en de vervuiling, dit alles vermeerderd met de netto-investeringen in fysiek kapitaal en de waarde van de mutatie in de vervuiling, waarbij de waarde per eenheid correspondeert met het marginale (on)nut.

De realisatie van het utilitaristische optimum in een gedecentraliseerde economie vergt het toepassen van dynamische Pigouviaanse belastingen die de externe effecten internaliseren en de mogelijkheid van "lump sum"-belastingheffing. Aronsson en Löfgren (1996b) bespreken de consequenties wanneer de eerstgenoemde vorm van economisch beleid niet mogelijk is en de overheid zich moet beperken tot een statische benadering van de correcte Pigouviaanse belasting.

Aronsson (o.c.) bestudeert het geval waarin de overheid geen "lump sum"-belastingen kan heffen, maar haar toevlucht moet nemen tot een distortionaire belasting op arbeid. In het model wordt tevens een heffing op het gebruik van energie behandeld. De economische agenten maken hun optimale keuzes, gegeven de acties die de overheid onderneemt. Deze acties behelzen het vaststellen van tijdspaden van:

- de publieke consumptie
- de heffing op energie
- het tarief van de loonbelasting.

Aronsson (o.c.) toont het volgende aan. Neem aan dat de overheid de publieke consumptie vaststelt conform het utilitaristische optimum en de energieheffing overeenkomstig de optimale schaduwprijs in het utilitaristische optimum. Definieer de "pseudo"-Hamiltoniaan als de waarde van de instantane welvaart in het algemene evenwicht, vermeerderd met de waarde van de investeringen en de waarde van de verandering van de vervuiling. Dan is deze Hamiltoniaan, en dus ook het aan de hand daarvan via linearisatie berekende groene nationale inkomen, in het algemeen niet gelijk aan de totale toekomstige welvaart. Er kan zowel van een over- als van een onderschatting sprake zijn, afhankelijk van de vraag of het aanbod van arbeid in het evenwicht ten gevolge van de energieheffing toe- dan wel afneemt.

Een volgende stap is het bestuderen van het "second best" optimum, waarbij de overheid de publieke consumptie en de belastingtarieven optimaal kiest in het licht van de preferenties (de nutsfunctie) van de consumenten. De overheid neemt in haar besluitvorming de wijze mee waarop de economische subjecten op de acties van de overheid zullen reageren. Met andere woorden: de overheid bepaalt haar optimale actie naar aanleiding van de vraag- en aanbodfuncties van consumenten en producenten, die op hun beurt afhangen van de acties van de overheid. In speltheoretische termen gaat het om een von Stackelberg-evenwicht. Bekend is dat, wanneer dit concept in een "open-loop"-structuur wordt toegepast, hetgeen wil zeggen dat de overheid aan het begin voor eens en altijd haar acties vastlegt, dezelfde overheid in de toekomst in veel gevallen (bij een groot aantal modellen) een prikkel heeft om van de aangekondigde strategie af te wijken, gegeven de dan ontstane situatie. Dit fenomeen heet dynamische inconsistentie. Een beter evenwichtsconcept is het feedback-evenwicht, maar dat is doorgaans zeer moeilijk uit te rekenen. In het onderhavige model doet zich ook dynamische inconsistentie voor. Maar als dit bezwaar even terzijde geschoven wordt, kan worden aangetoond dat de Hamiltoniaan van de overheid nu wel een maatstaf is voor de totale toekomstige welvaart. Deze conclusie is enerzijds bemoedigend, maar anderzijds moet bedacht worden dat de informatie die benodigd is om het groene nationale inkomen in dit kader te berekenen, reusachtig groot is: de Hamiltoniaan bevat schaduw prijzen en deze representeren het optimale beleid over de gehele toekomst. Men moet dus weten wat het optimale beleid is, voor het heden en voor de gehele nabije en verre toekomst.

Geconcludeerd moet worden dat het berekenen van een groen nationaal inkomen in het geval van distortionaire belasting een aantal nauwelijks op te lossen problemen stelt.

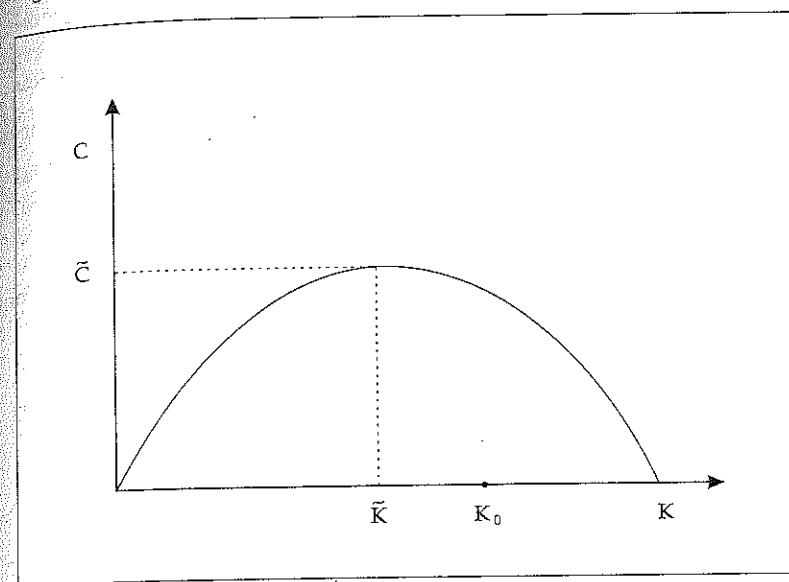
## 5. Duurzaam nationaal inkomen

De vraag die in deze sectie aan de orde komt, is of er aanpassingen mogelijk zijn van het conventionele nationale inkomen zodanig dat er een maatstaf ontstaat voor duurzame ontwikkeling. Een hogere waarde van deze maat zou dan een grotere mate van duurzaamheid representeren. Het huidige debat over dit onderwerp is gebaseerd op werk van Hicks (1946) en Samuelson (1961). Hicks (o.c., blz. 172) definieert iemands individuele inkomen als "the maximum value which (he) can consume during a week and still expect to be as well off at the end of the week as he was in the beginning". Hierin treffen wij het beginsel aan van het egalitaire-duurzaamheidsconcept, dat inhoudt dat het welbevinden van toekomstige generaties gelijk is aan dat van de huidige en tegelijk maximaal is. Een maatstaf voor duurzaamheid zou van belang kunnen zijn bij de vergelijking van een economie in verschillende jaren (is de economie er in termen van duurzaamheid op vooruit- dan wel op achteruitgegaan?) of bij het vergelijken van twee verschillende economieën (is de ene economie er in termen van duurzame ontwikkeling beter aan toe dan de andere?). Een alternatieve aanpak wordt voorgestaan door onder anderen Hueting (1989). Deze hanteert bepaalde absolute duurzaamheidsnormen en onderzoekt wat het nationale inkomen zou zijn wanneer de economie zich aan deze normen zou onderwerpen. Op deze aanpak wordt op het eind van deze sectie teruggekomen.

Duurzaamheid in het in sectie 1 beschreven éénsectormodel kan goed geïllustreerd worden in een grafiek (zie figuur 1).

Op de verticale as is de consumptie weergegeven en op de horizontale as de kapitaalgoederenvoorraad. De initiële kapitaalgoederenvoorraad wordt met  $K_0$  aangeduid. De getekende curve geeft de verzameling aan van combinaties van consumptie en kapitaal waarvoor de kapitaalgoederenvoorraad constant is. Als de economie zich bevindt in een punt boven de curve of als de kapitaalgoederenvoorraad groter is dan de voorraad die correspondeert met het snijpunt van de curve met de K-as, zijn de investeringen negatief. In punten onder de curve zijn de netto-

Figuur 1. Maximale consumptie.



investeringen positief. De maximale nettoproductie bij een investeringsniveau van nul wordt bereikt voor een kapitaalgoederenvoorraad ter grootte van  $\tilde{K}$ ; het bijbehorende consumptieniveau wordt aangeduid met  $\tilde{C}$ .

Gegeven de ligging van de initiële kapitaalgoederenvoorraad in de tekening is het optimaal om een hoeveelheid ter grootte van het verschil tussen  $K_0$  en  $\tilde{K}$  te vernietigen en het consumptieniveau constant op  $\tilde{C}$  te handhaven. Het nationale inkomen dat met deze oplossing correspondeert,  $F(\tilde{K}) - \mu\tilde{K}$ , is het maximale inkomen dat voor altijd gehandhaafd kan worden en is dus een goede maatstaf voor duurzaamheid. Gegeven de ligging van  $K_0$  geeft dit nationale inkomen het maximale constante consumptieniveau weer. Is de initiële kapitaalgoederenvoorraad kleiner dan  $\tilde{K}$  dan is het optimaal om die initiële voorraad voor eeuwig te handhaven en de consumptie gelijk te nemen aan de daarbij behorende nettoproductie, die in dit geval een juiste maatstaf vormt voor duurzaamheid.

Op te merken valt dat zich hier enige ongewenste eigenschappen van het Rawlsiaanse optimum manifesteren. Bij een hoge kapitaalgoederen-

voorraad vindt kapitaalvernietiging plaats, hetgeen niet Pareto-efficiënt is. En bij een lage kapitaalgoederenvoorraad blijft deze op dat lage niveau, terwijl met enige inspanning over een korte tijdsspanne een hogere voorraad en daarmee een voortdurend hoger consumptieniveau zou kunnen worden gerealiseerd.

Een groot deel van het werk met betrekking tot een duurzaam nationaal inkomen is verricht rond het zogenaamde model van Dasgupta en Heal, dat al kort aan de orde is geweest in sectie 2. Het vormt een voor de hand liggende uitbreiding van het hier gehanteerde model, met een grondstof uit een uitputbare natuurlijke hulpbron, die "kostenloos" kan worden gewonnen. Het bovengeschetste probleem van Pareto-inefficiëntie zal zich niet voordoen vanwege de substitueerbaarheid tussen kapitaal en de grondstof. Voor ons doel kunnen wij volstaan met een Cobb/Douglas-productiefunctie (ook gebruikt in de versie van Stiglitz, 1974). Er geldt dan:

$$(13) \quad \dot{K}(t) = K^{\alpha_1}(t)R^{\alpha_2}(t) - \mu K(t) - C(t)$$

Hierin is  $R$  de inzet van de grondstof, waarvan het totale gebruik begrensd is door de beginvoorraad van de hulpbron. De  $\alpha$ 's zijn de productie-elasticiteiten, die tussen 0 en 1 liggen. Aan de verdere beschouwing over duurzaamheid liggen twee resultaten ten grondslag.

Het eerste betreft *efficiëntie*. Wil deze economie efficiënt functioneren, dan moet steeds voldaan zijn aan de zogeheten regel van Hotelling (Hotelling, 1931). Deze houdt in dat de groeivoet van het marginale product van de grondstof gelijk is aan het marginale product van kapitaal. Dat is wellicht niet geheel evident en het gaat in dit kader ook te ver het formele bewijs te leveren. Maar de intuïtie achter de regel is in kort bestek te geven. Neem aan dat een competitieve economie in een evenwicht efficiënt functioneert (met andere woorden, de eerste wet van de welvaarts-theorie is van toepassing). In deze economie zal de prijs van de grondstof gelijk zijn aan het marginale product van de grondstof. Het marginale product van kapitaal is gelijk aan de rentestand. De eigenaren van de grondstofvoorraden maximaliseren de totale met de rentestand gedisconteerde winst. Indien nu de procentuele prijsstijging van de grondstof groter is dan de rentestand, is het voor de exploitanten optimaal om de winning van de grondstof uit te stellen; in het andere geval doen zij er goed aan om de winning in de tijd naar voren te brengen. In beide gevallen leidt arbitrage er dus toe dat er in sommige tijdsintervallen geen aan-

bod van de grondstof is, maar wel vraag, omdat de grondstof noodzakelijk is voor de productie van het consumptiegoed. Dat is niet evenwichtig, zodat er een gelijkheid moet bestaan tussen de groeivoet van de prijs van de grondstof en de rentestand.

Ten tweede heeft Solow (1974) aangetoond dat er in deze economie een positief constant consumptieniveau valt te realiseren indien de productie-elasticiteit van kapitaal ( $\alpha_1$ ) groter is dan de productie-elasticiteit van de grondstof ( $\alpha_2$ ) en de afschrijvingsvoet ( $\mu$ ) gelijk aan nul is. Dit resultaat is intuïtief gemakkelijk in te zien. In de loop van de tijd moet het gebruik van de grondstof noodzakelijkerwijs naar nul gaan, gegeven de beperkte voorraad van de grondstof (het moge duidelijk zijn dat een positieve afschrijvingsvoet van kapitaal, hoe klein ook, prohibitief zou zijn). Deze daling moet worden gecompenseerd door een toenemende kapitaalgoederenvoorraad. Maar dit voorschrift werkt alleen als het belang van kapitaal in de productiefunctie groter is dan het belang van de grondstof. Solow heeft ook precies uitgerekend wat de maximale constante consumptie is. De formule wordt hier niet gegeven. In het vervolg wordt deze grootheid met  $\bar{C}$  aangeduid.

Vervolgens is baanbrekend werk verricht door Hartwick (1977), die be-  
wezen heeft dat het optimale consumptieniveau  $\bar{C}$  gerealiseerd wordt indien, naast het handhaven van de regel van Hotelling, de opbrengsten van de natuurlijke hulpbron (het marginale product van de grondstof vermenigvuldigd met de inzet van de grondstof) voortdurend geheel geïnvesteerd worden in fysiek kapitaal. Dit wordt de regel van Hartwick genoemd.<sup>1</sup> Definieer nu het duurzame nationale inkomen als (het nut van) consumptie, vermeerderd met de investeringen in fysiek kapitaal en de waarde van de investeringen in de grondstof (dit is de grondstofwinning maal het marginale product daarvan, voorzien uiteraard van een negatief teken). Dan kan beweerd worden dat het duurzame nationale inkomen gelijk is aan het Rawlsiaanse consumptieniveau, omdat in deze context de investeringen in fysiek kapitaal gelijk zijn aan de desinvesteringen in de grondstofvoorraad. Daarmee is dus een maatstaf voor duurzaamheid in de volgende zin gevonden. Beschouw twee econo-

1 O.a. Hamilton (1995) heeft aangetoond dat dit ook een noodzakelijke voorwaarde is. Withagen (1996) en Withagen en Asheim (1997) besteden aandacht aan het generaliseren van de regel van Hartwick als voldoende respectievelijk noodzakelijke voorwaarde. De regel van Hartwick heeft een ruimere toepassing dan hier is aangegeven. Zie ook Asheim (1986), Dixit et al. (1980), Hamilton (1996) en Hartwick (1990, 1991, 1994a, 1994b).

mieën die beide de opbrengsten van de grondstof investeren in fysiek kapitaal. De economie die het hoogste nationale inkomen realiseert in de boven gegeven termen, heeft de duurzame ontwikkeling met het hoogste constante consumptieniveau.

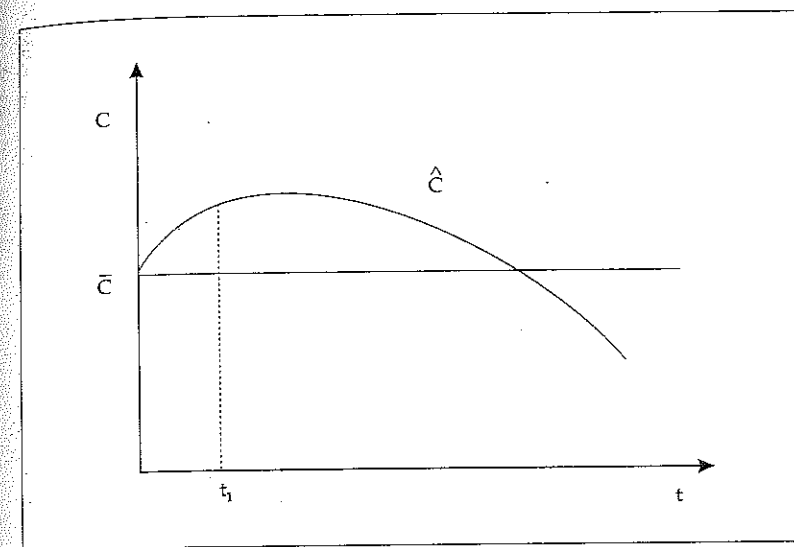
Bij deze aanpak dient een aantal kanttekeningen geplaatst te worden.

– In de eerste plaats moet bedacht worden dat in deze opzet de waarde van de grondstof tot uitdrukking brengt wat de marginale bijdrage van de grondstof is aan de doelstelling, namelijk een zo hoog mogelijk constant consumptieniveau. Deze waarde hoeft niet overeen te komen met de prijs van de grondstof in een competitieve economie. Dus als in een competitieve economie de totale waarde van de investeringen in ruime zin (dus in fysiek kapitaal en de grondstofvoorraad) voortdurend gelijk aan nul is, wil dit nog niet zeggen dat de economie in een situatie van duurzame ontwikkeling verkeert, omdat de actuele prijzen in de economie wellicht andere waarden reflecteren.

– Ten tweede moet bedacht worden dat de eis luidt dat de investeringen in ruime zin voortdurend gelijk aan nul moeten zijn. Derhalve mag niet geconcludeerd worden dat een economie in duurzame ontwikkeling verkeert, indien op zeker moment de opbrengsten van de grondstof gebruikt worden voor de vergroting van de kapitaalgoederenvoorraad. Dit is aangetoond door Asheim (1994), Pezzey (1994) en Pezzey en Withagen (1997). De redenering gaat als volgt. In figuur twee staat op de verticale as de consumptie en op de horizontale as de tijd. Aangegeven is de maximale constante consumptie  $\bar{C}$ . De andere curve komt als volgt tot stand. Beschouw voor het onderhavige model het utilitaristische optimum met een willekeurige constante positieve tijdsvoorkeurvoet. De positieve tijdsvoorkeurvoet houdt in dat er aan toekomstige generaties relatief weinig waarde gehecht wordt, zelfs dat het gewicht dat aan toekomstige generaties gehecht wordt willekeurig klein is, als de betreffende generatie maar ver genoeg in de toekomst leeft. Het gevolg is dat de consumptie die aan generaties ver in de toekomst wordt toebedeeld, willekeurig klein is. Dus de optimale utilitaristische consumptie convergeert naar nul als de tijd naar oneindig gaat.

Wat geschiedt er aan het begin van het optimale pad? Hier is een afweging van belang. Enerzijds kan onmiddellijk gekozen worden voor een hoog consumptieniveau, met als gevolg een flinke intering op de kapitaalgoederenvoorraad, zodat de consumptie permanent zal dalen. Anderzijds kan gekozen worden voor een niet al te hoge initiële consumptie, zodat kapitaal kan worden opgebouwd om in de nabije toe-

Figuur 2. Het tegenvoorbeeld van Asheim en Pezzey.



komst een redelijk hoog consumptieniveau te kunnen genieten. Het ligt voor de hand dat in het geval van een zeer grote voorkeur voor het heden het optimum zal bestaan in een hoog initieel consumptieniveau, dat vervolgens permanent zal dalen. In het geval van een lage voorkeur voor het heden zal de initiële consumptie laag zijn, in eerste instantie stijgen tot er een maximum bereikt wordt, waarna de consumptie voortdurend zal dalen. De juistheid van dit vermoeden is formeel bewezen door Pezzey en Withagen (1997). Bovendien zal het verschijnsel een zekere continuïteit vertonen, in de zin dat er een tijdsvoorkeurvoet bestaat waarbij de initiële utilitaristische consumptie samenvalt met de Rawlsiaanse. Het corresponderende consumptiepad wordt in de tekening aangeduid met  $\hat{C}$ . Wat valt er te zeggen over de investeringen in brede zin op de beide paden? Van het Rawlsiaanse optimum weten we reeds dat de investeringen gelijk aan nul zijn, en wel op elk moment. Asheim (1994) en Pezzey (1994) hebben onafhankelijk van elkaar aangetoond dat er, voordat het moment is bereikt waarop de consumptie op het utilitaristische pad maximaal is, een ogenblik bestaat (zoals bijvoorbeeld  $t_1$  in figuur 2) waarop de investeringen in ruime zin positief zijn. Zoals eenvoudig valt vast te stellen, is het bijbehorende consumptieniveau echter niet duurzaam te handhaven. Als een economie derhalve op zeker ogen-

blik meer dan de opbrengsten van de uitputbare natuurlijke hulpbron gebruikt voor het vergroten van de kapitaalgoederenvoorraad, dan betekent dit nog geenszins dat de economie zich in duurzame ontwikkeling bevindt. Hiermee is aangetoond dat het interpreteren van het nationale inkomen als maatstaf voor duurzaamheid niet gerechtvaardigd is, ook al is het gecorrigeerd voor de uitputting van de grondstof.

Opgemerkt zou kunnen worden dat er in deze sectie slechts een voorbeeld is behandeld, waarmee het "toevallig" verkeerd gaat. Dat is niet het geval: het beschreven verschijnsel doet zich ook in complexere modellen voor.

Tot slot schenken wij enige aandacht aan een methode die in Nederland gehanteerd zal worden om een duurzaam nationaal inkomen daadwerkelijk te berekenen. De methode is gebaseerd op werk van Hueting et al. (1995) en gaat ervan uit dat duurzaamheid bepaalde normen aan de economie oplegt in termen van uitputting van grondstoffen, emissies van vervuulende stoffen en bodemgebruik. Vervolgens dient bepaald te worden wat de kosten zijn om aan de duurzaamheidsnormen te voldoen. Deze kosten moeten worden afgetrokken van het nationale inkomen. De voorgestelde aanpak brengt een aantal conceptuele en praktische problemen met zich mee. Het is bijvoorbeeld nog maar de vraag of er objectieve duurzaamheidsnormen bestaan. Verder is het moeilijk om een inschatting te maken van de kosten die gemoeid zijn met het behalen van de normen. Voor een nadere bespreking verwijzen we naar Verbruggen et al. (1997).

## Besluit

De conclusies die uit deze bijdrage over groen en duurzaam nationaal inkomen getrokken kunnen worden, zijn negatief van karakter. De economische theorie heeft aangetoond dat betwijfeld moet worden of geschikte geaggregeerde maatstaven van "groenheid" en/of duurzaamheid, gebaseerd op het systeem van nationale rekeningen, kunnen worden ontwikkeld. Aan het gebruik van het in een of andere zin gecorrigeerde nationale inkomen zijn grote beperkingen opgelegd vanwege de eisen die aan de daartoe noodzakelijke informatie worden gesteld, vanwege het feit dat de economie steeds onderhevig is aan exogene ontwikkelingen in de tijd, en vanwege de heersende economische orde die in

onvoldoende mate een prijssysteem hanteert dat rekening houdt met de externaliteiten die zich in de economie voordoen. Ook anderen hebben zich in kritische zin uitgelaten, zoals Aaheim en Nyborg (1995) en Brekke (1994).

Met nadruk moet erop gewezen worden dat met deze kritiek niet gezegd is dat het verzamelen, interpreteren en presenteren van fysische en economische data over het gebruik van grondstoffen en vervuiling zinloos zou zijn. Integendeel, deze activiteit is van groot belang om inzicht te krijgen in de externe effecten die de economie bewerkstelligt. Evenzeer is het van eminent belang dat doorgedaan wordt met pogingen om de bedoelde externaliteiten op monetaire grondslag te waarderen. Wij moeten echter niet de illusie hebben om zeer complexe noties in een enkel kengetal te kunnen samenvatten. Het is verstandiger om naast de gangbare indicatoren van welvaart, zoals het nationale inkomen, indicatoren te ontwikkelen en te publiceren die betrekking hebben op de toestand waarin het milieu verkeert.

## Referenties

- AAHEIM, A. en K. NYBORG (1995), "On the Interpretation and Applicability of a 'Green' National Product", *Review of Income and Wealth* 41, blz. 57-71.
- ARONSSON, T. (1996), "Welfare Measurement, Green Accounting and Distortionary Taxes", *Umeå Economic Studies* nr. 426, Umeå University.
- ARONSSON, T., P-O. JOHANSSON en K.-G. LÖFGREN (1997), *Welfare Measurement, Sustainability and "Green" Accounting: A Growth Theoretical Approach*, Cheltenham, Edward Elgar.
- ARONSSON, T. en K.-G. LÖFGREN (1993), "Welfare Consequences of Technological and Environmental Externalities in the Ramsey Growth Model", *Natural Resource Modeling* 7, blz. 1-14.
- ARONSSON, T. en K.-G. LÖFGREN (1995), "Social accounting and welfare measurement in the presence of technological change, externalities and uncertainty", *Environmental and Resource Economics* 5, blz. 321-332.
- ARONSSON, T. en K.-G. LÖFGREN (1996a), "Social Accounting and Welfare Measurement in a Growth Model with Human Capital", *Scandinavian Journal of Economics* 98, blz. 185-201.
- ARONSSON, T. en K.-G. LÖFGREN (1996b), "An Almost Practical Step Towards 'Green' Accounting?", *Umeå Economic Studies* nr. 415, Umeå University.
- ASHEIM, G. (1986), "Hartwick's Rule in Open Economies", *Canadian Journal of Economics* 19, blz. 395-402.
- ASHEIM, G. (1994), "Net National Product as an Indicator of Sustainability", *Scandinavian Journal of Economics* 96, blz. 257-265.

BARTELMUS, P., C. STAHLER en J. VAN TONGEREN (1991), "Integrated Environmental and Economic Accounting: Framework for a SNA Satellite System", *Review of Income and Wealth* 37, blz. 111-148.

BARTELMUS, P. (1994), *Environmental growth and development*, Londen, Routledge.

BLANCHARD, O. en S. FISHER (1989), *Lectures on Macroeconomics*, Cambridge, Mass., The MIT Press.

BREKKE, K. (1994), "Net National Product as a Welfare Indicator", *Scandinavian Journal of Economics* 96, blz. 241-252.

BROCK, W. (1977), "A Polluted Golden Age", in: V.L. SMITH, ed., *Economics of Natural and Environmental Resources*, New York, Gordon and Breach.

CHICHILNISKY, G. (1994), "Sustainable development and North-South trade", *Paper presented at The Rockefeller Foundation Conference on Trade and Development*, Chiang-Mai, Thailand.

COMMISSIE VAN DE EUROPESE GEMEENSCHAPPEN (1994), "Mededeling van de Commissie aan de Raad en het Europese parlement betreffende de richtsnoeren voor de EU inzake milieu-indicatoren en een groene nationale boekhouding", Brussel.

DASGUPTA, P. en G. HEAL (1974), "The Optimal Depletion of Exhaustible Resources", *Review of Economic Studies*, Symposium Issue, blz. 3-28.

DASGUPTA, P. en G. HEAL (1979), *Economic Theory and Exhaustible Resources*, Welwyn, James Nisbet.

DASGUPTA, P. en K. MÄLER (1991), "The Environment and Emerging Development Issues", *Beijer Reprint Series* nr. 1, The Royal Swedish Academy of Science.

DASGUPTA, P. en K. MÄLER (1993), "Poverty, Institutions and the Environmental Resource Base", in: J. BEHRMAN en T. SRINIVASAN, eds., *Handbook of Development Economics*, North-Holland, Amsterdam.

DISCUSSIEPLATFORM MONETARISEREN VAN MILIEUVERLIEZEN (1997), *Monetariseren van Milieuverliezen*, Mimeo Centraal Bureau voor de Statistiek, Voorburg.

DXII, A., P. HAMMOND en M. HOEL (1980), "On Hartwick's Rule for Regular Maximin Paths of Capital Accumulation and Resource Depletion", *Review of Economic Studies* 47, blz. 551-556.

HAAN, M. DE en S. KEUNING (1996), "Taking the Environment into Account: The NAMEA Approach", *Review of Income and Wealth* 42, blz. 131-148.

HAMILTON, K. (1995), "Sustainable Development, the Hartwick Rule and Optimal Growth", *Environmental and Resource Economics* 5, blz. 393-411.

HAMILTON, K. (1996), "Pollution and Pollution Abatement in the National Accounts", *Review of Income and Wealth* 42, blz. 13-33.

HARTWICK, J. (1977), "Intergenerational Equity and the Investing of Rents from Exhaustible Resources", *American Economic Review* 67, blz. 972-974.

HARTWICK, J. (1978), "Investing Returns for Depleting Natural Resources and Intergenerational Equity", *Economics Letters* 1, blz. 85-88.

HARTWICK, J. (1990), "Natural Resources, National Accounting and Economic Depreciation", *Journal of Public Economics* 43, blz. 291-304.

HARTWICK, J. (1991), "Degradation of Environmental Capital and National Accounting Procedures", *European Economic Review* 35, blz. 642-649.

HARTWICK, J. (1994a), "National Wealth and Net National Product", *Scandinavian Journal of Economics* 96, blz. 253-256.

HARTWICK, J. (1994b), *Sustainability and Constant Consumption Paths in Open Economies with Exhaustible Resources*, München, Mimeo Center for Economic Studies.

HICKS, J. (1946), *Value and Capital*, Oxford, Oxford University Press.

HOTELLING, H. (1931), "The Economics of Exhaustible Resources", *Journal of Political Economy* 39, blz. 137-175.

HUETING, R. (1989), "Correcting National Income for Environmental Losses: Towards a Practical Solution", in: A. YUSUF, S. EL SERAFY en E. LUTZ, eds., *Environmental accounting for sustainable development*, Washington, World Bank.

HUETING, R., P. BOSCH en B. DE BOER (1992), *Methodology for the Calculation of Sustainable National Income*, Den Haag, Centraal Bureau voor de Statistiek, M44.

HUETING, R., B. DE BOER, P. BOSCH en J.-P. VAN SOEST (1995), "Estimating Sustainable National Income", in: W. VAN DIEREN, ed., *Taking Nature into Account*, New York, Springer-Verlag.

HULTEN, C. (1992), "Accounting for the Wealth of Nations: the Net versus Gross Controversy and its Ramifications", *Scandinavian Journal of Economics* 94, blz. 9-24.

JOHANSSON, P. en K.-G. LÖFGREN (1994), *On the Interpretation of 'Green' NNP Measures as Cost-Benefit Rules*, Mimeo Stockholm School of Economics, Stockholm.

KEUNING, S. (1996), *The NAMEA Experience. An Interim Evaluation of the Netherlands' Integrated Accounts and Indicators for the Environment and the Economy*, Paper gepresenteerd op het "International Symposium on Integrated and Economic Accounting in Theory and Practice", Tokyo.

MÄLER, K. (1991), "National Accounts and Environmental Resources", *Environmental and Resource Economics* 1, blz. 1-15.

MICHEL, P. (1982), "On the Transversality Condition in Infinite Horizon Optimal Control Problems", *Econometrica* 50, blz. 975-985.

NORDHAUS, W. en J. TOBIN (1972), "Is growth obsolete?", in: NATIONAL BUREAU OF ECONOMIC RESEARCH, *Economic Growth*, New York, National Bureau of Economic Research, blz. 4-17.

OECD (1997), *Main Economic Indicators*, Parijs, OECD.

PEZZEY, J. (1994a), *The Optimal Sustainable Depletion of Non-Renewable Resources*, Paper presented at the 1994 AERE workshop, Boulder, Colorado.

PEZZEY, J. (1994b), *Theoretical Essays on Sustainability and Environmental Policy*, Ph.D. Thesis, University of Bristol.

PEZZEY, J. (1995), *Non-declining Wealth is not Equivalent to Sustainability*, Mimeo University College London, Londen.

PEZZEY, J. en C. WITHAGEN (1997), *Single-Peakedness and Initial Sustainability in Capital-Resource Economies*, Mimeo Technische Universiteit Eindhoven, verschijnt in *Scandinavian Journal of Economics*.

RAMSEY, F. (1928), "A Mathematical Theory of Saving", *Economic Journal* 38, blz. 543-549.

RAWLS, J. (1972), *A Theory of Justice*, Oxford, Clarendon Press.

REPETTO, R., W. MAGRATH, M. WELLS, C. BEER en F. ROSSINI (1989), *Wasting Assets: Natural Resources in the National Income Accounts*, World Resources Institute, Washington D.C.

SAMUELSON, P. (1961), "The Evaluation of 'Social Income': Capital Formation and Wealth", in: F. LUTZ en D. HAGUE, eds., *The theory of capital*, New York, St. Martin's Press.

- SEFTON, J. en M. WEALE (1992), *The Net National Product and Exhaustible Resources: the Effects of Foreign Trade*, Mimeo Cambridge University, Cambridge.
- SEFTON, J. en M. WEALE (1996), "The Net National Product and Exhaustible Resources: The Effects of Foreign Trade", *Journal of Public Economics* 61, blz. 21-47.
- SEIERSTAD, A. en K. SYDSAETER (1987), *Optimal control theory with economic applications*, Amsterdam, North-Holland.
- SOLOW, R. (1956), "A Contribution to the Theory of Economic Growth", *Quarterly Journal of Economics* 70, blz. 65-94.
- SOLOW, R. (1974), "Intergenerational Equity and Exhaustible Resources", *Review of Economic Studies, Symposium*, blz. 29-45.
- SOLOW, R. (1986), "On the Intergenerational Allocation of Natural Resources", *Scandinavian Journal of Economics* 88, blz. 141-149.
- STIGLITZ, J. (1974), "Growth with Exhaustible Resources: Efficient and Optimal Growth", *Review of Economic Studies, Symposium*, blz. 139-152.
- VELLINGA, N. en C. WITHAGEN (1996), "On the Concept of Green National Income", *Oxford Economic Papers* 49, blz. 499-514.
- VERBRUGGEN, H., R. DELINK, R. GERLAGH en H. JANSEN (1997), *Duurzaam Nationaal Inkomen volgens Hueting: Voorstudie voor Berekeningen en Analyse*, Mimeo Instituut voor Milieuvraagstukken P-97/38, Amsterdam.
- WEALE, M. (1992), *Environmental Statistics and the National Accounts*, Mimeo Department of Applied Economics, Cambridge.
- WEITZMAN, M. (1976), "On the Welfare Significance of National Product in a Dynamic Economy", *Quarterly Journal of Economics* 90, blz. 156-162.
- WEITZMAN, M. (1997a), *On the Welfare Basis of Green Accounting*, Mimeo, Harvard University.
- WEITZMAN, M. (1997b), "Sustainability and Technical Progress", verschijnt in *The Scandinavian Journal of Economics*.
- WITHAGEN, C. (1996), "Sustainability and Investment Rules", *Economics Letters* 53, blz. 1-6.
- WITHAGEN, C. en G. ASHEIM (1997), *Characterizing Sustainability: the Converse of Hartwick's Rule*, Mimeo Technische Universiteit Eindhoven, verschijnt in *Journal of Economic Dynamics and Control*.

#### Abstract

#### Green and Sustainable National Income

Sustainable development is an objective that finds world-wide support as an aim of economic policy. However, it is not quite clear what the concept exactly means, nor how the objective can be reached. In any case there is great need for integrated indicators providing a measure of sustainability. The literature pays much attention to aggregate measures such as sustainable and green national income. In the present article we investigate the theoretical basis for the further development and the applicability of such indicators in practice.

## Appendix

In deze appendix wordt gepoogd duidelijk te maken welke rol de Hamiltoniaan speelt in optimalisatievraagstukken. Wij beperken ons daarbij tot een discrete-tijdversie van het model dat in sectie 3 wordt besproken. Het probleem luidt: maximaliseer

$$W[C] \equiv \sum_{t=0}^{\infty} \left( \frac{1}{1+\rho} \right)^t U(C(t))$$

onder de voorwaarden

$$K(t+1) - K(t) = F(K(t)) - \mu K(t) - C(t), \quad t = 1, 2, \dots$$

met  $K(0) = K_0$  gegeven. Indien de uitdrukkingen voor  $C$  in de doelstellingsfunctie gesubstitueerd worden, dan geldt

$$W[C] = \sum_{t=0}^{\infty} \left( \frac{1}{1+\rho} \right)^t U(F(K(t)) - \mu K(t) - K(t+1))$$

Als er een inwendige oplossing bestaat, dan is de afgeleide van deze uitdrukking met betrekking tot  $K(t)$  ( $t = 1, 2, \dots$ ) gelijk aan nul. Definieer

$$\lambda(t) \equiv \left( \frac{1}{1+\rho} \right)^t U'(C(t))$$

dan geldt voor alle  $t$

$$\frac{\lambda(t+1) - \lambda(t)}{\lambda(t+1)} = -(F'(K(t)) - \mu)$$

Een alternatieve aanpak bestaat in het definiëren van de Hamiltoniaan

$$\begin{aligned} H(K, C, \lambda, t) &\equiv \left( \frac{1}{1+\rho} \right)^t U(C) + \lambda [K(t+1) - K(t)] \\ &= \left( \frac{1}{1+\rho} \right)^t U(C) + \lambda [F(K) - \mu K - C] \end{aligned}$$

Maximalisatie met betrekking tot  $C$  levert op

$$\lambda(t) = \left( \frac{1}{1+\rho} \right)^t U'(C(t))$$

Verder eist het maximumprincipe dat  $\lambda$  voldoet aan de boven afgeleide differentievergelijking.