

## Discussie met Centraal Planbureau (CPB) over zorg, onderwijs etc. in eDNI

Aan George Gelauff

6 oktober 2011

Van Roefie Hueting en Bart de Boer  
Beste George,

Het is al weer vijf jaar geleden dat we een gesprek hadden op EZ over het milieuduurzaam nationaal inkomen (mDNI), waaronder de berekening met een algemeen evenwichtsmodel. Je zei toen dat een halvering van de toegevoegde waarde van sectoren zoals zorg, onderwijs, rechtspraak en bestuur voor iedere politicus volstrekt onaanvaardbaar is. Wij zeiden het daar vanzelfsprekend mee eens te zijn. We willen niet verhelen verbouwereerd te zijn geweest en niet te hebben begrepen waarom we dit zelf niet veel eerder hadden opgemerkt. Tot de uitgangspunten voor de raming van een DNI, zoals veronderstelde preferenties voor het bereiken van fysieke normen en het ook in het buitenland optreden van verandering van de prijsverhoudingen, behoort uiteraard eveneens ongewijzigde beschikbaarheid van deze collectieve en semi-collectieve voorzieningen. Door publicitaire en andere verplichtingen en een medische probleem van een van ons is dit probleem op de achtergrond geraakt. Maar het is wel in ons achterhoofd blijven spoken. Totdat een paar jaar geleden een van ons opeens het ei van Columbus zag. Dat zit zo.

Uit onderzoek in het grondmateriaal van de Nationale Rekeningen over twee perioden is gebleken dat de NI groei voor het grootste deel wordt gegenereerd door rond eenderde van het NI, gemeten als arbeidsvolume, door de daar optredende zeer grote toeneming van de arbeidsproductiviteit. (Hueting 1981, Hueting et al. 1992). Dat deel blijkt de goederen en diensten te bevatten, bij de productie en consumptie waarvan de grootste druk op het milieu wordt uitgeoefend, door vervuiling en door gebruik van ruimte, energie en grondstoffen. (Globaal een derde draagt matig bij tot de groei en een ander derde deel draagt daar niet toe bij, zoals bestuur, rechtspraak en cultuur.) De reële prijzen van genoemde goederen zijn daardoor gedaald en hun volume is fors gestegen, waardoor het NI is gegroeid. Het gestegen volume is door het prijsmechanisme en andere mechanismen verdeeld over de samenleving. De prijsverhouding van veel en weinig milieu belastende goederen is fors gedaald.

Door het gesimuleerde toerekenen van de kosten van de milieumaatregelen aan de veroorzakers en door gesimuleerde directe verschuivingen naar milieuvriendelijker activiteiten zijn in de resulterende milieuduurzame situatie de prijsverhoudingen drastisch veranderd in omgekeerde richting. De traditionele arbeidsproductiviteit in de milieu belastende sectoren is in die situatie sterk gedaald. Het volume van het mDNI ligt daardoor aanzienlijk lager dan het NI, in 1990 bijvoorbeeld 56%. De toegevoegde waarde of het inkomen c.q. de claim op goederen van alle werkers is in een milieuduurzame situatie dus gemiddeld met hetzelfde percentage gedaald. De verhoudingen tussen de toegevoegde waarden van de sectoren is uiteraard veranderd.

Bij de bovengenoemde sectoren zorg, onderwijs, bestuur en rechtspraak blijken dalingen van het reële inkomen of de TW te zijn opgetreden die gelijk of vrijwel gelijk zijn aan de daling van het volume van het NI, dus in 1990 56%. Hieruit volgt dat het arbeidsvolume in deze sectoren, in het model als één sector samengevoegd, gelijk is gebleven. Dit is logisch, want het zijn de sectoren die behoren tot de activiteiten die volgens bovengenoemd onderzoek niet bijdragen aan de groei van het NI omdat daar geen stijging van de productiviteit plaats vindt. De productiviteit van de werkers in deze sectoren is in de duurzame situatie gelijk gebleven aan de productiviteit in de onduurzame situatie, conform wat kan worden verwacht. Uit deze analyse volgt de conclusie dat *in de gesimuleerde milieuduurzame situatie de diensten van genoemde sectoren onveranderd beschikbaar blijven.*

George, we zouden het op hoge prijs stellen als je ons je reactie laat weten.

Met vriendelijke groet, Roefie Hueting en Bart de Boer

Den Haag, 20-12-2011

Beste Roefie en Bart,

Dank voor jullie brief. Ik zal proberen kort en duidelijk op jullie vraag in te gaan.

Als ik het goed begrepen heb, zeggen jullie (iets geschematiseerd) het volgende: Het gesimuleerde volume van een duurzaam nationaal inkomen (mDNI) ligt 44% onder het NI. De effecten per sector lopen echter erg sterk uiteen. Jullie benadrukken dat zowel de werkgelegenheid als het volume van de productie in de (schone) sector onderwijs, bestuur en rechtspraak onveranderd blijven. Reden: de preferenties blijven onveranderd en de daling van de productiviteit heeft daar niet (nauwelijks) plaatsgevonden. Kortom, bij een overgang naar een mDNI zal de krimp vooral (uitsluitend) op de vervuilende sectoren terecht komen. Ik ga hier iets dieper op in. Jullie schrijven in jullie brief het volgende:

(i) De groei van het NI wordt voor ongeveer eenderde gegenereerd door, in termen van arbeidsvolume, eenderde van de economie. Dit zijn bij uitstek vervuilende activiteiten. Ik stel me voor dat dat landbouw, mijnbouw, industrie, bouw, transport e.d. zijn.

(ii) Ongeveer eenderde draagt matig bij tot de groei. Dit zullen vooral licht vervuilende dienstensectoren zijn

(iii) Het resterende derde deel draagt niet bij aan de groei. Dit zijn, in termen van het mDNI, de 'schone' dienstensectoren als rechtspraak, cultuur, bestuur e.d..

Als het productievolume van de onder (iii) genoemde sectoren onveranderd blijft (zie jullie brief), dan moet de terugval in het productievolume dus geheel bij de onder (i) en (ii) genoemde sectoren terechtkomen. Ik ben geneigd te zeggen dat dit vermoedelijk niet kan. En met 'niet kunnen' bedoel ik dat de samenleving dan met serieuze overlevingsproblemen te maken krijgt. Van een totale volumebijdrage van 67% moet de bijdrage van de sectoren die tot (i) en (ii) gerekend worden, namelijk teruggebracht worden naar 41% en zal het volume van die sectoren dalen met twee derde (zie onderstaand rekenvoorbeeld). Als de korting niet pondspondsgewijs over de sectoren die onder (i) en (ii) vallen (vuil en een beetje vuil), zou plaatsvinden, maar, hetgeen verwacht mag worden, vooral de erg vuile sectoren zou treffen, dan zouden al snel 80-90% van de gehele industrie, de landbouw, het transport e.d. verdwijnen. Er l zullen wat ambachten en wat volkstuinachtige vormen van landbouw resteren.

Totaal	Erg vuil + beetje vuil	Schoon
100	67	33
56	23	33

Aandeel vuil van 0,67 naar 23 / 56 = 0,41; daling vuil en beetje vuil  $(1-23/67)*100 = 66\%$

Een van de vragen die dan opkomen is, of er nog voldoende voedsel zal zijn? Zonder een drastische vergroting van de inzet van arbeid in de landbouw zal dat m.i. niet het geval zijn. Zonder fosfaat en op fossiele energie gebaseerde nitraatkunstmest zal de productie hoe dan ook zeer drastisch terugvallen. Bij een energievoorziening die voldoet aan de definitie van een mDNI kan ik me helemaal weinig voorstellen. Ik verwijs naar mijn brief van 27-04-2009. Het antwoord van Roefie in zijn brief van 8-05-2009 vind ik niet erg overtuigend. Daarin wordt vooral geschreven over een *overgang* naar een mDNI via substitutie en technische vooruitgang, een veronderstelling die toch echt in tegenspraak is met jullie definitie van een mDNI. Daarin wordt over de nu beschikbare technologie gesproken!.

Transport naar steden zal, denk ik, vooral met handkarren moeten plaatsvinden. Zullen steden niet drastisch moeten worden verkleind? In het pre-industriële tijdperk werd de omvang van de stad bepaald door de afstand tot de voedsel- en energievoorziening. Het transport van voedsel en brandhout kostte al snel meer energie (en voedsel) dan de hand- of paardenkar kon

vervoeren. Kortom, zonder grote hoeveelheden fossiele energie kunnen de huidige steden, bij de *beschikbare technologie* (dus gegeven de definitie van het mDNI) m.i. niet bestaan. Etc. Daarbij wil ik bovendien nog op twee andere punten wijzen. (i) Een mDNI in Nederland houdt per definitie in dat de hele wereld volgens de normen die passen bij een mDNI moet produceren. En (ii) De 44% terugval in het volume van productie is volgens mij een sterke onderschatting van de terugval die op zal treden bij een productiewijze die consistent is met een mDNI.

De implicatie hiervan is dat de terugval in voedselproductie dus niet zomaar via invoer zal kunnen worden gecompenseerd, en dat, onder de veronderstelling van een gelijk blijven van sectoren als cultuur, onderwijs, bestuur e.d., de productie vermoedelijk nog meer zal terugvallen (meer dan de bovengenoemde berekende 66%).

Terugblikkend hebben (relatief) schone sectoren als cultuur, onderwijs, bestuur, rechtspraak e.d. juist kunnen groeien vanwege de enorme stijging van de productiviteit in de landbouw, de industrie, het transport e.d.. In landen met een laag productieve landbouw werkt al gauw zo'n 60% of meer in de landbouw (zie FAO statistieken) om op een enigszins 'groene wijze' (weinig) voedsel te produceren. Een zeer grote daling van de productiviteit in de landbouw en de industrie zal, bij gelijkblijvende arbeidsinzet in de schone sectoren, hoe dan ook tot uitdrukking komen in een veel lagere productie. Weliswaar zal een deel van die daling kunnen worden opgevangen door een verlaging van de consumptie, maar jullie hebben me nog lang niet overtuigd dat dit, wat de voedselproductie betreft (zie vooral ook het fosfaatprobleem) bij benadering het geval zal zijn. Integendeel. Het probleem wordt zelfs niet genoemd. Alles wat ik zelf weet over het mondiale voedselsysteem wijst in de richting dat dit niet zo zal zijn. Een groot deel van de kunstenaars, de rechters en de leraren zal daarom mee moeten helpen de aardappelen te rooien en het graan te dorsen.

Kortom, voorlopig zitten we, in termen van eindige grondstoffen en ecologische draagkracht, op een onduurzaam spoor. We zullen het moeten hebben van technische vooruitgang, een voortgaande daling van de fertiliteit en meevallende grondstoffenvoorraden en draagkracht. Het alternatief is m.i. in de praktijk volstrekt onhaalbaar. Jullie vraag verliest daarmee volgens mij zijn relevantie. Maar zelf als het alternatief (een mondiale productiestructuur volgens de definitie van het mDNI) haalbaar zou zijn, dan nog zullen sectoren als cultuur, onderwijs, rechtspraak, bestuur e.d. in hun huidige vorm niet kunnen blijven bestaan: ze zullen fors moeten krimpen. Daarvoor rusten ze teveel op de hoge productiviteit van de huidige vervuilende sectoren als landbouw en industrie.

Ik heb voor de duidelijkheid van de discussie het bovenstaande misschien soms wat scherp geformuleerd, maar ik hoop van harte dat dit bij draagt aan de overtuigingskracht.

Vriendelijke groet,

George

23-1-2012

Aan George Gelauff  
Van Roefie Hueting en Bart de Boer  
Betreft antwoord op brief van 20-12-2011

Beste George,

Bedankt voor je brief van 20 december. Graag brengen we even in herinnering waar het over ging. Je werkte in 2004 op AEP. Op verzoek van Brinkhorst zou je een rapport opstellen over het mDNI samen met Schmieman en Roefie. Bart maakte een van de besprekingen daarover mee. Er was overeenstemming bereikt over de inhoud toen je de opmerking maakte dat geen politicus de halvering zal pikken van de sector niet-commerciële dienstverlening waarin bestuur, rechtspraak, onderwijs en zorg. We dachten: dit betekent dat de fysieke output van deze sector wordt gehalveerd (hierover hebben we mails gewisseld). Als dit juist zou zijn, zouden wij denken 'so what, het mDNI is informatie en geen taakstellend scenario'. Maar we vonden het niet juist want het is de bedoeling om het niveau van deze essentiële activiteiten in het mDNI te handhaven. We waren bang dat dit uitgangspunt in het model niet was gerespecteerd doordat arbeid uitstroomt uit deze sector naar andere sectoren. We konden niet de beschikking krijgen over de modeluitkomsten ten aanzien van het arbeidsvolume (en nu nog niet). Roefie was oververmoeid door bestraling die de hoofdzaak genas maar drie blijvende mankementen veroorzaakten. Daardoor is het probleem blijven liggen maar wel in ons achterhoofd gebleven, totdat we het ei van Columbus vonden, zoals aangegeven in onze brief van 6 oktober. Het ging dus om slechts één heel beperkt probleem van de raming van het mDNI, namelijk de ogenschijnlijk *geringe* omvang van de genoemde sector in de modeluitkomst. Tot onze verbazing bevat je reactie van 20 december een forse kritiek op het mDNI en een kritiek op de te *grote* omvang van genoemde sector in het mDNI. We komen daar straks op terug.

In de eerste paar alinea's geef je ons werk grosso modo correct weer. Er staan twee vergissingen in. De eerste 'eenderde' in de eerste zin van de derde alinea, beginnend met (i), moet tweederde zijn. De transportsector behoort tot de commerciële dienstensector.

Vervolgens geef je een berekening van het mDNI die veel lager uitkomt dan het door het IVM geraamde mDNI. Je berekening zou consistent zijn met de door ons gepubliceerde uitgangspunten van het mDNI, kennelijk in tegenstelling tot de IVM raming. Volgens je berekening zal 80-90% van de industrie, landbouw en transport verdwijnen, waardoor serieuze overlevingsproblemen ontstaan. Maar bij het mDNI kan dit niet gebeuren. We nemen als voorbeeld de landbouw in 1990 omdat die ook aansluit op de hieronder besproken historische ontwikkeling van het arbeidsvolume en de productiviteit. De toegevoegde waarde van de landbouw daalt in het mDNI 70% ten opzichte van het gerealiseerde NI. Dat betekent om verschillende redenen allermindst gevaar voor hongersnood. Ten eerste daalt het arbeidsvolume met veel minder dan 70%. Immers, bij een gelijke procentuele daling van de TW als van het NI (56% in 1990) blijft het arbeidsvolume gelijk; zie nogmaals het ei van Columbus in onze brief van 6 oktober. De daling van de TW in de landbouw is echter 14% groter. Maar het arbeidsvolume in deze sector daalt minder dan 14% vanwege instroom van arbeid uit de commerciële dienstensectoren (zie hieronder). Ten tweede worden in de raming rechtstreekse verschuivingen (direct shifts) naar minder milieubelastende landbouwproducten toegepast zodra de kosten hiervan lager blijken dan de kosten van de technische maatregelen voor het bereiken van de fysieke duurzaamheidsnormen. De mogelijkheden hiervoor zijn ook in de landbouw groot. Springende voorbeelden zijn verschuiving van vlees naar granen en

peulvruchten, inheemse in plaats van tropische gewassen, geen zomergroente in de winter en voedingsgewassen i.p.v. biobrandstoffen. De voedingswaarde van de landbouwproductie kan daarbij gelijk blijven. Ten derde wordt, wanneer een vastgesteld bestaansminimum wordt bereikt, in dit geval door het optreden van voedseltekort, met een lagere omvang van de bevolking gerekend. We herinneren overigens aan onze meermalen gepubliceerde opmerking dat het ogenblikkelijk bereiken van een aldus gesimuleerde economie zowel onhaalbaar als onwenselijk is.

Je zegt dat je je bij een energievoorziening die voldoet aan de definitie van mDNI weinig kunt voorstellen en dat Roefie in zijn brief van d.d. 8 mei 2009 spreekt over een *overgang* naar het mDNI via substitutie en technische vooruitgang, een veronderstelling die in tegenspraak is met de definitie van het mDNI waarin alleen sprake is van beschikbare technologie. Maar in de brief wordt nergens gesproken over een overgang naar het mDNI. Het mDNI wordt verkregen door een in de realiteit onmogelijke sprong naar duurzaamheid in een tot nul naderend tijdsbestek. Nauwkeuriger uitgedrukt betreft het een comparatief statische raming van de afstand tot duurzaamheid. Duurzaamheid is bij het mDNI gedefinieerd als het beschikbaar houden voor komende generaties van de vitale gebruiksmogelijkheden van de niet door de mens gemaakte fysieke omgeving (milieufuncties) waarvan hij/zij voor 100% afhankelijk is in alles wat hij/zij doet. De functies van een vernieuwbare hulpbron blijven in stand zolang het regeneratieve vermogen van de hulpbron groter is dan het gebruik ervan. Bij niet-vernieuwbare hulpbronnen zoals fossiele brandstoffen voor de energievoorziening neemt regeneratie de vorm aan van efficiëntieverhoging, hergebruik en substitutie. Het relatieve tempo van ontwikkeling van deze drie processen samen, die in een periode voorafgaand aan de raming is waargenomen, wordt geëxtrapoleerd naar de toekomst met het doel dat de hulpbron uiteindelijk volledig wordt gesubstitueerd. Dit is inderdaad een overgang op duurzaamheid, maar zeker niet op het mDNI, binnen een zeer beperkt dynamisch “scenario” voor duurzaam verbruik van de betreffende hulpbron. Daaruit volgt een norm voor het verbruik van de hulpbron in het jaar van raming. De berekening van de kosten voor het voldoen aan die norm is nog steeds comparatief statisch. Voor een beschrijving van de methode verwijzen we naar de bijlage. De definitie van het mDNI omvat expliciet de toepassing van dit type norm voor duurzaam gebruik van niet-vernieuwbare hulpbronnen. De definitie luidt: *The SNI according to Hueting is the maximum net income which can be sustained on a geological time scale, with future technological progress assumed only in the development of substitutes for non-renewable resources, where such substitution is indispensable for sustaining environmental functions, in turn essential for sustaining income.* De cursieven staan in de geciteerde tekst in het aan Roefie's werk gewijde boek waarnaar al meerder malen is verwezen. (R. Hueting and B. de Boer, “Environmental Valuation and Sustainable National Income according to Hueting”, in: E.C. van Ierland c.s. (eds.), *Economic Growth and Valuation of the Environment, A Debate*, Edward Elgar, 2001). Het artikel is makkelijk bereikbaar op de website [www.sni-hueting.info](http://www.sni-hueting.info). Er is dus absoluut geen tegenstrijdigheid tussen definitie en raming van het mDNI.

Wat betreft je kritiek met betrekking tot het buitenland het volgende. De meest ernstige milieuproblemen zijn mondiaal: het klimaat en de verarming van de aquatische en terrestrische ecosystemen. Als het buitenland niet op duurzaamheid overgaat vindt slechts verplaatsing van de milieubelasting plaats. Landen dragen - in de simulatie – bij aan de eliminatie van de milieubelasting naar rato aan hun bijdrage daaraan.

Je schrijft dat in de simulatie de krimp vooral (of uitsluitend) op de vervuilende sectoren terecht komt. Maar dat is niet het geval. Dit zou ook niet consistent zijn met wat Roefie vond in zijn onderzoek naar het genereren van de NI groei naar sector. Als je de sterk belastende sectoren samenweegt dan zie je voor de periode 1965-1985, die aan de eerste DNI raming in

1990 voorafging, in deze sectoren bijna een halvering van het arbeidsvolume en een verhoging van het volume van de productie met een factor vijf (CBS, Statistische onderzoeken, M 44, 1992). Door de enorme verhoging van de (traditioneel gedefinieerde) arbeidsproductiviteit is een toeneming van de hoeveelheid goederen gerealiseerd die door markt- en andere mechanismen is verdeeld over de samenleving, waardoor het gemiddelde inkomen van de werkers (hun claim op geproduceerde goederen, hun TW) in de diensten ongeveer gelijk is aan dat van de werkers in de sectoren die de goederenhoeveelheid deden toenemen. De omvang van de dienstensector kon toenemen door de productiviteitsgroei elders. Door de internalisering van de duurzaamheidskosten in (met name) de milieu sterk belastende sectoren en door direct shifts ontstaat een drastische verandering van de prijsverhoudingen en van de productie- en consumptiepatronen. Als gevolg hiervan zal een deel van het arbeidsvolume in de commerciële diensten inderdaad terugvloeden naar de door deze internalisering nu minder vervuilende sectoren. Maar het arbeidsvolume van rechtspraak, bestuur etc. houden we gelijk. Want als de rechtsstaat verzwakt dan zakt de productie in, daar zijn voorbeelden van te geven. (Roefie ontmoette een paar jaar terug Baumol. Die zei: ik deed geen onderzoek vergelijkbaar met het jouwe maar constateerde simpelweg dat het spelen van een Beethoven kwartet nu even moeilijk is als honderd jaar geleden). Ik denk dat we op dit punt niet van mening verschillen.

Misschien denk je met je rekenvoorbeeld het mDNI te hebben ondergraven. Maar het DNI wil louter en alleen informatie geven over de ontwikkeling van de afstand tot milieuduurzaamheid. Dus zelfs wanneer je rekenvoorbeeld juist zou zijn, quod non, dan zou onze reactie zijn: *'so what'*, dat doet niets toe of af aan de methode. Maar we zouden natuurlijk wel schrikken van de omvang van de afstand.

We zijn het natuurlijk met je eens dat we het moeten hebben van de ontwikkeling van technologie. Maar Roefie heeft in zijn publicaties aannemelijk gemaakt dat we milieuduurzaamheid waarschijnlijk niet met uitsluitend technologie kunnen bereiken, maar dat daarnaast verandering van consumptiepatronen, mede door direct shifts, onvermijdelijk is (evenals het opgeven van prioriteit aan productiegroei). Dat blijkt ook uit de simulaties.

Ook in 2009 heeft, net als nu, een beperkte vraag aan Coen Teulings geleid tot een uitgebreid antwoord met een vernietigend oordeel over het mDNI, geschreven door Herman Stolwijk. Het grootste deel van die kritiek lag op natuurwetenschappelijke terrein. (Daarnaast was er, ook net als nu, sprake van onbekendheid met de theorie achter het DNI). Roefie heeft toen in samenspraak met Lucas Reijnders, met wie hij vrij veel heeft gepubliceerd, dat oordeel punt voor punt weerlegd, in een uitgebreide notitie waar veel werk in is gaan zitten. Die samenspraak is toen vermeld. Lucas geldt, ook internationaal, als een autoriteit op het gebied van de natuurwetenschappelijke aspecten van het milieuvraagstuk. Wij achten het hoogst onwaarschijnlijk dat Herman hierover meer kennis van zaken heeft dan Lucas. Roefie verwachtte een reactie met een bedankje voor de verkregen informatie en de gedane moeite, maar dat is nooit gekomen. Hij wil niet verhelen dit onsportief te vinden.

Tot slot nemen we de vrijheid om je wat te vragen. Ten eerste, zou je ons alsjeblieft even willen laten weten of je deze brief hebt gelezen? Ten tweede, je schrijft in je laatste brief "Het antwoord van Roefie in zijn brief van 8-5-2009 vind ik niet erg overtuigend", zou je hem even willen laten weten of je die brief van 8-5-2009 met bijlagen hebt gelezen? We vragen niet meer dan een simpel ja of nee.

Met vriendelijke groet, Roefie Hueting en Bart de Boer.

## Bijlage. Tinbergen – Hueting – Bosch methode voor niet-vernieuwbare hulpbronnen

From: R. Hueting and B. de Boer, “Environmental Valuation and Sustainable National Income according to Hueting”, in: E.C. van Ierland c.s. (eds.), *Economic Growth and Valuation of the Environment, A Debate*, Edward Elgar, 2001.

In the case of very slowly forming natural resources such as crude oil and copper, which are to all intents and purposes non-renewable, ‘regeneration’ can take three forms: efficiency improvements, recycling and, over the longer term, substitution of one form of environmental capital by another that can provide the same functions. Familiar examples of substitution include solar power and glass fibre for crude oil and copper wire, respectively.

This can be expressed as follows in a numerical value. Sustainability of non-renewable natural resources means that in a given period only as much may be withdrawn from the stock as substitutes for the resource are expected to be developed in the long run as well as new potential for recycling and conserving the resource (improvement of efficiency). In this way the functions of a resource available in the year of investigation are maintained at the same levels in the future. In practice this can be worked out by, for instance, taking from a period in the past the quantity of possible uses (for example heating, transportation, and so on expressed in effective energy) that has become available through efficiency improvement, substitution and recycling and then assuming that the relative rates of efficiency improvement, substitution and recycling will be the same in the future.<sup>6</sup> There follows from this a maximum permissible annual rate of extraction that can be used as a sustainability standard. In a formula:  $e(t_0) \leq r(t_0) \cdot S(t_0)$ , in which  $e(t_0)$  is the extraction rate in year  $t_0$ ,  $r(t_0)$  the relative rate (or rate coefficient) of reduction of consumption of the resource (resulting from substitution, and so on) at a *constant level of activities*, and  $S(t_0)$  the stock in year  $t_0$  (Tinbergen, 1990).

This formula is applied at the global level. Standards for individual countries can be subsequently derived by applying the general rule, given in Section 6, that a country's share in meeting the global standard should be equal to its share in total extraction.

In practice, the factor  $r(t_0)$  is determined mainly by efficiency improvements, as substitution and recycling have still made only a very minor contribution in recent years. The aforementioned assumption that the line recording use of the resource in the past can be continued into the future with, basically, a constant annual rate of efficiency improvement, implies that as time progresses the same material output can be achieved at a fraction of current resource use. In a study on the development of energy efficiency, Tinbergen (1990) found a practical value of 1.67 per cent for this improvement rate. From this it follows that in 60 years' time the present level of production can be achieved with 37 per cent and in 315 years' time with 0.5 per cent of current fossil fuel consumption:  $S(315) = (1 - 0.0167)^{315} \times S(0) = 0.005 \times S(0)$ . Such enormous efficiency improvements (63 per cent and 99.5 per cent, respectively) seem rather unlikely. In the context of sustainability, 315 years is a very short time. The probability that humankind will sooner or later have to manage without the functions of the non-renewable natural resources, if no substitutes are found, is comparable to the certainty that humankind will sooner or later have to manage without the functions of the soil in those areas where the degree of erosion is higher than the rate of soil formation.

Because efficiency improvements alone are thus inadequate to achieve sustainability, it has been proposed that, in the calculation of SNI, additional measures must be taken for the

development of substitutes (Tinbergen and Hueting, 1991). We here adopt this proposal, applying the following procedure. For each resource, statistical data are used to establish the rate at which substitution (the ultimate solution) has taken place over the past 10 to 20 years and the annual cost this has entailed. It is then calculated how long it would take, at this rate, to completely replace the resource (1). Next, it is calculated how long it will take for the resource to be depleted, at the *current* level of production (2). Then (1) divided by (2) yields a rough approximation of the required 'acceleration factor' for the development of substitutes in time for them to replace the functions of the resource when it is depleted. This factor multiplied by the statistically established annual cost of substitute development yields the sum that needs to be reserved for this purpose.

The figures thus found can be no more than rough estimates, of course. In the context of non-renewable natural resources, though, this is an approach that does justice to the principle of sustainability, which is the point of departure of our estimates. Our approach would be comparable with that of Solow (1974), Hartwick (1977, 1978) and others, if the latter were to exclude unfeasible substitution of renewable resources by other resources and by capital (see below), that is if they were to abandon their faith in the extreme areas of formal production functions.

P.S. We denken een preciezer formulering te hebben gevonden, maar die is nog niet gepubliceerd.