

## F2.1 Monetarisering (verborgen milieukosten)

### Samenvatting

De verborgen milieukosten in GreenCalc en het TWIN-model 2002 zijn duurzaamheidsindicatoren op bouwdeel en gebouwniveau. GreenCalc geeft een maat voor de milieubelasting, die de feitelijke milieubelasting van een gebouw relateert aan een duurzaamheidsstandaard voor milieubelasting. Deze verborgen milieukosten meten de afstand tussen de huidige milieubelasting en de duurzame milieubelasting van dat gebouw (of bouwdeel). Dit meten van de afstand tot duurzaamheid gebeurt in geld via preventiekosten. Dit proces van het uitdrukken van milieubelasting in geld heet monetariseren. Een duurzame milieubelasting betekent hier een milieubelasting die tot in het oneindige kan worden volgehouden zonder significant nadelige effecten voor de gezondheid van de mens, voor de biodiversiteit en voor het Life Support Systeem.

Bij 'preventiekosten tot duurzaamheid' gaat het om kosten van preventieve maatregelen, die getroffen zouden moeten worden om de huidige verontreiniging terug te dringen tot aan een duurzaam niveau.

Deze kosten zijn berekend op de basis van technische en maatschappelijke maatregelen. De verborgen milieukosten zijn virtuele kosten. Het toevoegsel "virtueel" geeft aan, dat de maatregelen waarop ze betrekking hebben in de praktijk (nog) niet uitgevoerd zijn. Deze preventiemaatregelen zijn niet geïntegreerd in de productieketen en komen niet tot uitdrukking in de huidige prijzen, maar worden wel door de maatschappij opgebracht.

De berekening van de duurzame preventiekosten (monetarisering) gaat bijvoorbeeld bij emissies (verontreiniging) als volgt:

- LCA berekening van de emissies volgens (zo veel mogelijk) de huidige standaard (ISO 14041)
- classificatie van de milieu-ingrepen in 4 of 17 milieuthema's
- omzetting van kg emissies in kg equivalenten per milieuthema
- vermenigvuldigen van de kg equivalenten met de duurzame preventiekosten per kg equivalent.

De volgende milieueffecten worden beoordeeld:

#### Emissies

- broeikaseffect
- ozonlaagaantasting
- humane toxiciteit
- aquatische toxiciteit (zoet water)
- terrestrische toxiciteit
- fotochemische oxidantvorming
- verzuring
- eutrofiëring

#### Eenheid

- kg CO<sub>2</sub> eq.
- kg CFC-11 eq.
- kg 1,4-DB eq.
- kg 1,4-DB eq.
- kg 1,4-DB eq.
- kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> eq.
- kg SO<sub>2</sub> eq.
- kg PO<sub>4</sub> eq.

#### Methode

- CML2-baseline, GWP<sup>100</sup>
- CML2-baseline, ODP<sup>100</sup>
- CML2-baseline, HTP<sup>100</sup>, global
- CML2-baseline, FAETP<sup>100</sup>, global
- CML2-baseline, TAETP<sup>100</sup>, global
- CML2-baseline, high NOx POCP
- CML2-baseline, average European AP
- CML2-baseline, generic EP

#### Uitputting:

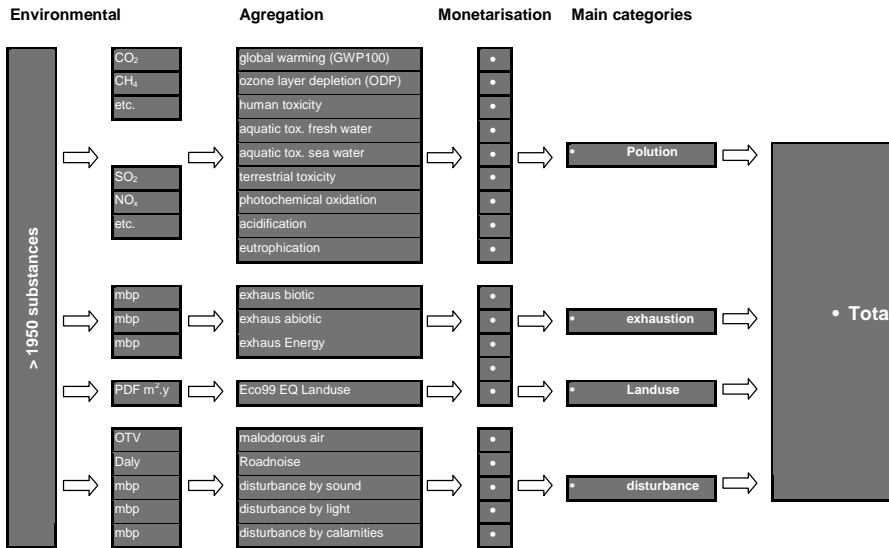
- |                           |     |      |
|---------------------------|-----|------|
| - biotische grondstoffen  | mbp | TWIN |
| - abiotische grondstoffen | mbp | TWIN |
| - energiedragers          | mbp | TWIN |

**Landgebruik** PDF\*m<sup>2</sup>yr Eco-indicator '99

**Hinder ten gevolge van:**

- stank	OTV m <sup>3</sup>	CML2-baseline, inverse OTV
- geluid door wegtransport	DALY	Müller-Wenk
- geluid door productieprocessen	mbp	TWIN
- licht	mbp	TWIN
- kans op calamiteiten	mbp	TWIN

In schema weergegeven werkt de monetarisering als volgt:



*Afbeelding 1: dit schema laat zien hoe de eenheden van milieubelasting geaggregeerd worden tot milieueffecten, welke gemonetariseerd worden tot een totaalbedrag.*

In deel B worden de monetariseringstallen uitgerekend. Hieronder is zichtbaar wat op dit moment de monetariseringstallen zijn:

<b>Emissies</b>		<b>Milieukosten</b>
- broeikasemffect	0,091	€ / kg CO <sub>2</sub> eq.
- ozonlaagaantasting	5724,691089	€ / kg CFC-11 eq.
- humane toxiciteit	0,048	€ / kg 1,4-DB eq.
- aquatische toxiciteit (zoet water)	0,048	€ / kg 1,4-DB eq.
- terrestrische toxiciteit	0,048	€ / kg 1,4-DB eq.
- fotochemische oxidantvorming	4,402	€ / kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.
- verzuring	2,723	€ / kg SO <sub>2</sub> eq.
- eutrofiëring	54,454	€ / kg PO <sub>4</sub> eq.
<b>Uitputting:</b>		
- biotische grondstoffen	0,042	€ / mbp
- abiotische grondstoffen	0,042	€ / mbp
- energiedragers	0,042	€ / mbp

**Landgebruik** 0,205 PDF\*m<sup>2</sup>yr

**Hinder ten gevolge van:**

- stank	0,0000000233	OTV m <sup>3</sup>
- geluid door wegtransport	321,946	DALY
- geluid door productieprocessen	0,000000149	€ / mbp
- licht	0,024	€ / mbp
- kans op calamiteiten	0,024	€ / mbp

## INHOUDSOPGAVE

Samenvatting	1
Verantwoording	5
<b>DEEL A: ACHTERGRONDEN</b>	<b>6</b>
1. Achtergrond	6
1.1 reeds bestaand gedachtengoed	6
1.2 duurzame ontwikkeling	6
2. Verschillende methoden om milieukosten te berekenen	7
2.1 preventiekosten tot duurzaamheid	7
2.2 duurzame preventiekosten als maat	8
3. Duurzame milieubelasting	9
3.1 Life Support Systeem en milieufuncties	9
3.2 uitgangspunten voor duurzame milieubelasting	10
3.3 maximaal milieugebruik voor menselijke doeleinden	10
3.4 duurzaamheidsstandaards als wetenschappelijk concept	11
3.5 duurzaamheidsstandaards per thema	11
3.6 maatschappelijk kader	12
4. Methode verborgen milieukosten	12
4.1 berekening verborgen milieukosten	12
4.1.1 LCA methode voor milieubelasting	12
4.1.2 preventiekosten (kosten van preventieve maatregelen)	13
4.1.3 kosten effectiviteit curve	14
4.1.4 (virtuele) preventiekosten zijn duurzame preventiekosten	15
4.1.5 volledig en omvattend	15
4.2 verborgen milieukosten als economische maat	15
4.3 marginale huidige milieukosten	15
5. Wetenschappelijke inbedding	16
5.1 LCA en TWIN	17
5.2 kosten effectiviteit curves	17
5.3 validiteit	18
5.3.1 milieu-ingrepen	18
5.3.2 kwantificering tot de milieuthema's	18
5.3.3 levensduur	18
<b>DEEL B: MILIEUKOSTEN</b>	<b>19</b>
1. Verontreiniging	19
1.1 broeikasgassen	19
1.1.1 gewenste emissiedruk	19
1.1.2 CO2 equivalenten in de bouw	20
1.1.3 Milieukosten broeikasgassen	20
1.2 ozonlaagaantasting	21
1.2.1 duurzaamheidsniveau	21
1.2.2 milieukosten	22
1.3 toxiciteit (humaan, aquatisch en terrestrisch)	23
1.3.1 Milieukosten	23
1.4 fotochemische oxidantvorming	24
1.4.1 gewenste emissiereductie	24

1.4.2 milieukosten fotochemische oxidantvorming equivalenten	24
1.5 verzuring	25
1.5.1 niet schadelijke verzurende depositie	25
1.5.2 milieukosten verzuring	25
1.6 eutrofiëring	26
1.6.1 Gewenste reductie eutrofiërende stoffen	26
1.6.2 milieukosten fosfaatequivalenten	26
2. Uitputting	27
2.1 Biotische en abiotische grondstoffen en energiedragers	27
3. Landgebruik	27
3.1 achtergrond	28
3.2 moneteriseren van ecologische diensten	28
3.3 aannames en beperkingen	28
4. Hinder	29
4.1 stank	29
4.2 geluid	30
4.3 licht en kans op calamiteiten	30

**BIJLAGEN:**

Berekening milieukosten van gas- en elektriciteitsverbruik	31
Literatuurverwijzing en aanbevolen literatuur	32

**Verantwoording**

Dit rapport is ontstaan in opdracht van de Rijksgebouwendienst en de Stichting Sureac, de eigenaar van het programma GreenCalc.

De auteurs zijn dr. Ferdinand Beetstra (TU-Eindhoven), dr.ir. Michiel Haas, ir. René van der Loos en Ruben Abrahams, BSc (alle drie NIBE).

In het rapport wordt beschreven hoe de verborgen milieukosten in het programma GreenCalc v2.0 worden uitgerekend. De methode van moneterisering wordt ook gebruikt in het TWIN<sup>2002</sup>-model (zie in *Basiswerk Duurzaam & Gezond Bouwen* onder F1.4) en is daarmee de basis voor de huidige manier om de milieuvergelijkingen in het *Basiswerk Duurzaam & Gezond Bouwen* te maken. Er zijn nu nog verschillen tussen de methode gebaseerd op TWIN<sup>2002</sup> en GreenCalc v2.0. Deze verschillen zijn hier zoveel mogelijk duidelijk gemaakt, maar zullen met het uitkomen van GreenCalc v3.0 zijn verdwenen. Dan is alles gebaseerd op de methode van CML-2 en TWIN<sup>2002</sup>.

## DEEL A: ACHTERGRONDEN

### 1. Achtergrond

De manier om verborgen milieukosten te berekenen gebaseerd op de preventiekosten tot duurzaamheid is niet een gedachte, die voor het eerst bij de researchgroep van GreenCalc is opgekomen.

#### 1.1 reeds bestaand gedachtegoed

Over het principe van monetarisering op macroschaal heeft dr. R. Hueting (destijds werkzaam bij het CBS) al in de zeventiger jaren meerdere vooraanstaande publicaties [Hue74] laten verschijnen.

Zijn werk is gecumuleerd in de voorlopig afsluitende wetenschappelijke studie 'Final report on calculations of a sustainable national income according to Hueting's methodology' [IVM00]. In deze studie -in opdracht van EZ en VROM uitgevoerd door het IVM in samenwerking met het CBS- worden op macro-economische schaal preventiekosten tot duurzaamheid berekend. Bij het schrijven van dit rapport is dankbaar gebruik gemaakt van deze studie.

De methode verborgen milieukosten GreenCalc is niet een losstaande methode, maar is ingebed in een over vele jaren ontwikkelde berekeningswijze van preventiekosten op nationaal niveau [Hue92, Hue99]. GreenCalc bouwt voort op dit gedachtegoed en heeft het verder ontwikkeld en vertaald naar productniveau. Dit werk kon tot stand komen, dankzij het vele voorwerk dat door Milieustatistieken van het CBS in Den Haag is verricht of wat Milieustatistieken in opdracht hebben gegeven. Specifiek dank aan Bert de Boer voor de vruchtbare uitleg en discussie.

Voorts heeft de Milieu-inspecteur van de Rijkshuisvesting, ir. L.M. Dewever, in zijn zoektocht naar alles in één getal, de gedachten van verborgen milieukosten opgepakt als een mogelijkheid om de altijd moeizame discussie over weegfactoren bij levenscyclusanalyse-studies (LCA-studies) op een goede manier vorm te geven.

GreenCalc is niet de enige, die op zo'n manier tot milieukosten op productniveau wil komen. De wetenschappelijke onderbouwing van zo'n aanpak is onder meer gegeven in het proefschrift van Joost Vogtlander [Vog01]. Van de door hem ter beschikking gestelde stukken is dankbaar gebruik gemaakt.

De methode van de verborgen milieukosten is voor GreenCalc ontwikkeld, maar wordt inmiddels ook voor de productbeoordelingen met het TWIN-model gebruikt. Daarmee beschikken het TWIN-model en GreenCalc over vergelijkbare beoordelingsmethoden. Momenteel is er nog een verschil in de opbouw van de database, omdat GreenCalc v2.0 nog gebaseerd is op de CML-1 methode en TWIN<sup>2002</sup> op de methode CML-2. Met het verschijnen van GreenCalc v3.0 zal dit verschil verdwijnen.

#### 1.2 duurzame ontwikkeling

Wereldwijd is het milieu in het afgelopen decennium verder gedegradeerd. Om een bepaalde milieukwaliteit duurzaam zeker te stellen, is het stellen van limieten aan het belasten van het milieu een voorwaarde. Dat wil zeggen, dat de gewenste en te behouden milieukwaliteit wordt vertaald in fysieke standaards voor de milieubelasting. Het gaat dan om het tegengaan van het overschrijden van de standaards, hetgeen in de huidige praktijk betekent het verminderen van de milieubelasting tot aan die fysieke limieten.

Het idee bepaalde limieten voor de milieubelasting als uitgangspunt voor het milieu en het economisch beleid te nemen is al in de vijftiger jaren naar voren gebracht en verder ontwikkeld door Bishop (1978). In dit geval wordt het draagvermogen van het milieu als uitgangspunt genomen.

In principe kan met de veronderstelling dat de samenleving een voorkeur heeft voor een duurzaam gebruik van milieufuncties een standaard gezet worden. Hiervoor worden begrippen gebruikt als draagvermogen en maximaal toelaatbare belasting. De maatschappelijke voorkeur voor zo'n zienswijze is uitgesproken in het Brundtland-rapport (1987): de Nederlandse overheid heeft zich dit al vroeg eigen gemaakt (NMP1/1989). De Europese Unie deed hetzelfde toen ze het 'Fifth Environmental Action Plan: Towards Sustainability (1992)' aannam. De UNCED conferentie in Rio de Janeiro (1992) vormde wereldwijd een mijlpaal.

De keuze van de Nederlandse regering voor duurzaamheid maakt een voorkeur voor duurzaamheid plausibel. Een algemene preferentie voor duurzaamheid is een bijzonder geval van de 'fix standard approach'. De vraag naar milieu en natuur is zo, dat deze in stand wordt gehouden, er treden geen nadelige effecten op; nu niet en niet naar de toekomst. (Dit uitgangspunt veronderstelt dat de vraag voor de toekomst gelijk blijft aan de huidige vraag. Dit impliceert dat de tijdsvoorkeur en discontovoet nul zijn. Deze veronderstelling is natuurlijk niet helemaal juist.)

## 2. Verschillende methoden om milieukosten te berekenen

De verborgen milieukosten zijn duurzaamheidsindicatoren op bouwdeel en gebouwniveau. Ze zijn een graadmeter voor de milieubelasting van een gebouw, die de feitelijke milieubelasting van het gebouw relateren aan duurzaamheidsstandaards voor milieubelasting. Ze beschrijven dus meer dan de feitelijke situatie. De verborgen milieukosten meten de afstand tussen de huidige milieubelasting van een gebouw (of bouwdeel) en de duurzame milieubelasting van dat gebouw (of bouwdeel). Dit meten gebeurt in geld via preventiekosten. Het verschil in milieubelasting wordt uitgedrukt in de kosten van maatregelen, waarmee de afstand kan worden overbrugd. Dit zijn preventieve maatregelen om milieubelasting te voorkomen.

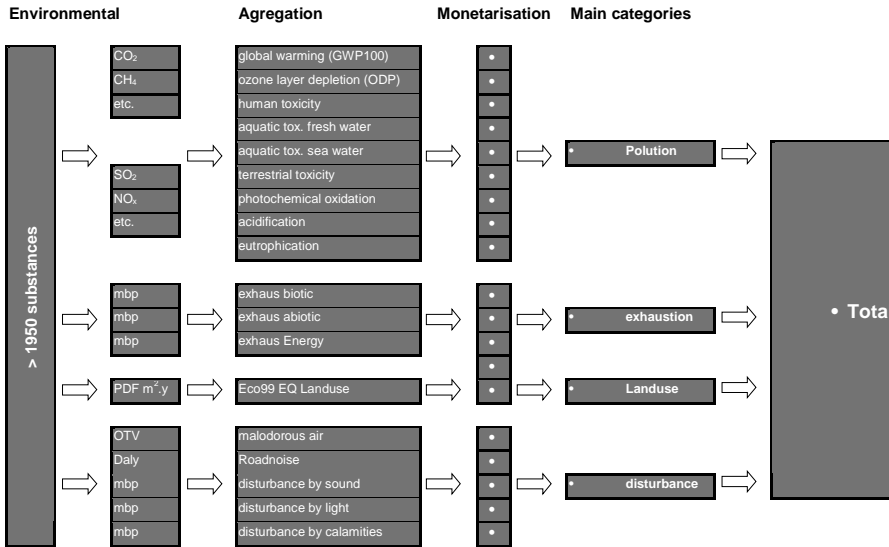
### 2.1 preventiekosten tot duurzaamheid

Bij 'preventiekosten tot duurzaamheid' gaat het om kosten van preventieve maatregelen, die getroffen zouden moeten worden om de huidige emissies terug te dringen tot aan een duurzaam niveau.

Duurzame preventiekosten geven een beeld van wat de maatschappij zou moeten betalen voor het terugdringen van de milieubelasting tot een duurzaam niveau (preventie tot duurzaamheid). Deze kosten zijn berekend op de basis van technische maatregelen om de milieubelasting te voorkomen tot aan een niveau dat duurzaam is.

De verborgen milieukosten zijn "virtuele" kosten. Het toevoegsel "virtueel" geeft aan, dat de maatregelen waarop ze betrekking hebben in de praktijk (nog) niet uitgevoerd zijn. Deze milieukosten zijn niet geïntegreerd in de productieketen en komen niet tot uitdrukking in de huidige prijzen.

De verborgen milieukosten van een gebouw of bouwproduct bestaan uit vele elementen die zijn samengevoegd tot 4 basiscomponenten. Het geheel staat hieronder in schema weergegeven:



Afbeelding 2: Schema waarop te zien is uit welke onderdelen een berekening van de verborgen milieukosten bestaat.

**2.2 duurzame preventiekosten als maat**

De verschillende milieuthema's hebben een verschillend biologisch, chemisch en fysiek karakter. Een verdergaande weging tot 1 indicator op basis van biologische, chemische en fysieke karakteristieken gaat niet.

Over het algemeen zijn er drie manieren om verschillende typen potentiële schade door een milieueffect te wegen:

1. wegen van de negatieve waarde van de gevolgen en schade;
2. wegen van de moeite om schade te voorkomen;
3. wegen van de moeite om de schade te repareren.

Gezien vanuit het oogpunt van een duurzame ontwikkeling is optie twee de meest geschikte: bij een duurzame ontwikkeling gaat het er juist om het niet tot significante schade te laten komen. Het voorkomen van schade is de aangewezen weg om tot een duurzame ontwikkeling te komen.

Het wegen op basis van preventie kent een basisprobleem: tot welk niveau moet de preventie gaan?

Er zijn drie gezichtspunten waar de standaards voor preventie op gebaseerd kunnen worden:

1. standaards voor maximaal toelaatbare emissies op een duurzaam niveau;
2. preventie normen gebaseerd op een economisch optimum. Dat is het emissie niveau, waarbij de kosten van verdere preventie even groot zijn als de kosten van de nog optredende schade;
3. preventie op basis van de huidige praktijk.

De eerste aanzet kent het probleem, dat we voor de meeste milieuthema's de kennis (nog) niet hebben om de standaards voor duurzame emissieniveaus binnen duidelijk vastgestelde smalle marges aan te geven.

Het eenduidig kwantificeren van de schade is het probleem van de tweede aanzet. Daarbij is schade een subjectiever begrip en kent een minder eenduidig wetenschappelijk concept dan standaards voor een duurzaam emissieniveau.

Het derde gezichtspunt leidt tot preventiekosten gebaseerd op de huidige situatie. Het gaat hierbij om preventiekosten per eenheid emissie om 1 eenheid meer emissie tegen te gaan dan nu het geval is. Het zijn de kosten van de goedkoopste van de mogelijke maatregelen om verder te gaan met preventie ten opzichte van het huidige niveau.

Aan de berekeningswijze van de verborgen milieukosten hebben de volgende criteria ten grondslag gelegen:

- de berekeningswijze moet eenvoudig uit te leggen zijn aan leken;
- voor experts moet de berekeningswijze transparant zijn;
- de berekeningswijze moet gelijk blijven als ze voor andere gebieden wordt toegepast en de bij andere gebieden behorende data moet op eenvoudige wijze kunnen worden geïncorporeerd.

(Het systeem van de verborgen milieukosten is gemaakt voor de Nederlandse / West-Europese gebouwen). Om de methode ook in andere werelddelen te kunnen toepassen, zal onderzoek gedaan moeten worden naar de preventiekosten in die werelddelen. Naar verwachting zal dat enige verschillen opleveren, in hoeverre die verschillen maatgevend zullen zijn is nu nog niet te bepalen, daarvoor zijn gevoeligheidsanalyses noodzakelijk.

Een berekeningswijze op basis van duurzame preventiekosten lijkt het meest geschikt:

- het preventiekosten idee is eenvoudig uit te leggen aan niet experts; (iedereen kan begrijpen, dat de maatregelen om emissies verder te reduceren geld kosten);
- de methode voor het berekenen van de preventiekosten (per kg milieuequivalent) is transparant. Voor leken zijn de rekenstappen eenvoudig te volgen en experts kunnen daarnaast beoordelen of ze het eens zijn met de data die gebruikt worden en ze kunnen de gevoeligheid van de berekeningswijze voor de onzekerheden en aannamen narekenen.

### **3. Duurzame milieubelasting**

#### **3.1 Life Support Systeem en milieufuncties**

Het Life Support Systeem (LSS) is een ecologisch proces dat de productieve, adaptieve en vernieuwbare capaciteit van land, water en de gehele biosfeer onderhoudt. Het mondiale Life Support Systeem is verantwoordelijk en waarschijnlijk nodig voor de voorwaarden voor het leven van de soorten en daarmee van de functies die voor het voortbestaan van mensen en ecosystemen van belang zijn. Het Life Support Systeem is een dynamisch systeem, wat in de loop van de geschiedenis van het leven op aarde - over honderden miljoenen jaren - zijn beslag en veerkracht heeft gekregen. Onze kennis van met name de processen (interacties, buffervermogen en terugkoppelingen) is onvoldoende om absolute uitspraken te doen over exacte termijnen en effecten. Vanuit het voorzorgprincipe voor toekomstige generaties zal de milieubelasting binnen veiligheidsmarges moeten blijven.

In welke mate het milieu functies voor de mens ter beschikking kan stellen hangt af van de kwaliteit, kwantiteit en ruimte van de biofysische omgeving. Milieugebruik en daarmee milieubelasting omvat het gebruik van ruimte, het verbruik van hulpbronnen en de uitstoot van stoffen in het milieu. Hoe groter de milieubelasting, des te meer worden de natuurlijke processen aangetast, die het milieugebruik mogelijk maken. De gebruiksmogelijkheden van het milieu worden milieufuncties genoemd. Een duurzaam gebruik van het milieu is een milieugebruik, waarbij de milieufuncties tot in de lengte van dagen beschikbaar blijven. Een duurzame milieubelasting is een niveau van milieubelasting die duurzaam (=oneindig lang) kan blijven bestaan zonder dat deze leidt tot aantasting van de milieufuncties.

### **3.2 uitgangspunten voor duurzame milieubelasting**

Uitgangspunt voor het vaststellen van duurzaam milieugebruik is het natuurlijke buffer- en regeneratievermogen van het milieu. Zolang dit niet wordt overschreden blijven de milieufuncties duurzaam voorhanden. Dit impliceert o.a. het volgende:

- voor biodiversiteit: de snelheid waarmee soorten uitsterven, mag niet hoger zijn dan de snelheid van het ontstaan van nieuwe soorten. Dit betekent het behoud van de thans levende soorten, omdat de extinctie van soorten van vandaag de dag veel hoger is dan het ontstaan ervan.
- voor gronderosie: het tempo en de mate van erosie van vruchtbare bodem mag niet groter zijn dan de snelheid waarmee door weersinvloeden nieuwe grond ontstaat.

De vormingsnelheid van een nieuwe bodemtoplaag is vrij goed bekend, evenzo de neutralisatiecapaciteit van verschillende grondtypen met betrekking tot zure neerslag. Hier kunnen de duurzaamheidnormen vrij nauwkeurig worden vastgelegd. Voor andere milieufactoren, zoals grondwatervervuiling of broeikasgassen, bestaat nog te weinig kennis om de duurzaamheidgrenzen binnen kleine marges aan te kunnen geven. Omdat de risico's groot kunnen zijn, wordt bij onzekerheden en gebrek aan kennis in de context van duurzaamheid uitgegaan van het voorzorgbeginsel.

Als het LSS en de milieufuncties naar de toekomst behouden blijven is er sprake van een duurzame milieubelasting. Verondersteld wordt, dat het Life Support Systeem en de milieufuncties behouden blijven, als:

- stoffen zich niet ophopen (toevoegen van stoffen kleiner dan buffervermogen)
- soorten niet uitsterven op wereldschaal.

Verder geldt als primaire eis, dat de gezondheidstoestand van mensen er niet door mag achteruitgaan.

Duurzaamheidsstandaards hebben hierop betrekking en worden via modellen vertaald in normen voor milieubelasting, zoals emissies, gebruik van grondstoffen en ruimtegebruik.

### **3.3 maximaal milieugebruik voor menselijke doeleinden**

Duurzaam milieugebruik is verbonden met de gebruiksmogelijkheden van het milieu. De premisse van het TWIN-model en GreenCalc is niet een maximale bescherming van het milieu. Het gaat er niet om de milieudruk zo veel mogelijk terug te brengen, noch om een vermindering van de milieudruk, die verder gaat dan nodig is om de milieufuncties duurzaam in stand te houden.

De berekeningswijze gaat juist uit van een maximaal gebruik van het milieu voor menselijke doeleinden, echter binnen de randvoorwaarde dat dit gebruik nog duurzaam is. Anders gezegd: de premisse is een maximum gebruik van het milieu, waarbinnen de milieufuncties

nog in tact blijven (tot in lengte van dagen). Dit betekent, dat de functies tenminste bewaard blijven net boven of ongeveer op het minimale niveau, dat de natuur nog kan ondersteunen.

De milieureferenties voor de berekeningswijze zijn niet “zero-emissies”, noch een emissie niveau waarbij geen milieueffecten optreden. De referentie is het maximale emissieniveau waarbij geen schadelijke en / of generatie overschrijdende gevolgen optreden.

Samengevat: het TWIN-model en GreenCalc gaan uit van het maximale milieugebruik, dat nog duurzaam is.

### **3.4 duurzaamheidsstandaards als wetenschappelijk concept, fysieke grenzen**

Het milieudeel van duurzaamheid is hier geformuleerd als het instandhouden van het buffervermogen van het milieu en de milieufuncties. Dit buffervermogen is niet onbegrensd. Boven bepaalde waarden treden er veranderingen op (bijvoorbeeld Big Moose Lake in de USA: zure lozing in meer, na een tijd verzuring en afsterven, NMP1). Dit betekent, dat er fysieke kwantitatieve grenzen bestaan aan de hoeveelheid milieubelasting die de aarde kan dragen zonder dat milieufuncties verloren gaan. Deze grenzen zijn objectieve, wetenschappelijke duurzaamheidsstandaards voor de milieubelasting. Het kan echter voorkomen, dat we deze grenzen nog niet kennen of slechts binnen een grote bandbreedte kunnen bepalen.

Duurzaamheid, gedefinieerd als de situatie waarbij milieufuncties ad infinitum beschikbaar blijven, is een objectief concept, op dezelfde wijze als dit van natuurwetenschappen wordt verondersteld.

Dit rapport sluit zich hierbij aan bij o.a. Hueting en Reijnders [Hue92, Hue99, Rei98]. Het is goed het onderscheid in de gaten te houden tussen deze objectieve wetenschappelijke standaards en de subjectieve voorkeur om zulke standaards te bereiken of niet.

In de praktijk is het (nog) onmogelijk een geïntegreerde standaard voor een duurzaam milieugebruik te berekenen op een theoretisch correcte wijze. Om tot praktische standaards te komen hebben de onderzoekers, zoals hierboven gezegd, aangenomen dat het LSS en de milieufuncties in tact blijven als:

- stoffen zich niet ophopen
  - soorten niet uitsterven op wereldschaal
  - de gezondheidstoestand van mensen niet door milieubelasting achteruitgaat.
- De praktische standaards zijn berekend met behulp van milieumodellen voor elk milieuthema afzonderlijk.

### **3.5 duurzaamheidsstandaards per thema**

In dit rapport wordt gewerkt met duurzaamheidsstandaards, die voortvloeien uit de hierboven geformuleerde uitgangspunten voor duurzaam milieugebruik.

Duurzaamheidsnormen worden door de onderzoekers maar voor 1 milieuthema tegelijk gebruikt. Echter een duurzaam milieugebruik kan niet per thema worden bereikt, maar omvat alle thema's. Bij de vaststelling van de normen is dan ook verondersteld, dat alle normen tegelijk worden bereikt. Dit is niet waarschijnlijk, maar vormt een noodzakelijke en niet cruciale vereenvoudiging van het systeem.

Bij grensoverschrijdende milieuproblemen, zoals broeikasgassen en verzuring, is de duurzame milieudruk vertaald naar grenzen voor de milieubelasting op Nederlandse

schaal. Hierbij wordt de benodigde reductie voor de Nederlandse situatie evenredig genomen aan de bijdrage van Nederland en wordt verder verondersteld, dat alle bij het milieuprobleem betrokken landen tegelijkertijd de benodigde maatregelen nemen om een duurzame milieubelasting te bereiken.

Buiten beschouwing wordt gelaten, dat Nederland in het verleden pro capita al onevenredig veel aan een milieuprobleem heeft bijgedragen en dat dientengevolge het intergenerationele rechtvaardigheidsbeginsel haar reductie eigenlijk nog veel groter dient te zijn.

### **3.6 maatschappelijk kader**

Het kader voor de verborgen milieukosten is te komen tot een duurzame milieubelasting, als voorwaarde voor een duurzame ontwikkeling. Het milieudeel van een duurzame ontwikkeling is hier geformuleerd als het instandhouden van het buffervermogen van het milieu en daarmee van de milieufuncties.

De monetarisering is een berekeningswijze die een bijdrage wil leveren aan een duurzame milieubelasting. Deze bijdrage is geoperationaliseerd door het meet- en weegbaar maken van de milieubelasting van gebouwen. De weging van de milieuaspecten gebeurt in geld. Door de weging van de verschillende milieuaspecten in geld kan er een vergelijking plaatsvinden en kan naar minder belastende alternatieven gezocht worden.

Het doel is mogelijk (potentieel) gebruik van het milieu (en zijn functies) niet verloren te laten gaan. Op deze wijze behouden toekomstige generaties hun vrijheid te kiezen.

## **4. Methode verborgen milieukosten**

De methode van de verborgen milieukosten heeft tot doel een classificatie en een monetaire weging te ontwikkelen als een algemeen toepasbaar instrument voor de analyse van de milieubelasting van gebouwen in alle relevante kaders die voor gebouwen van betekenis zijn. Toepassingen zijn er op dit moment in GreenCalc en TWIN<sup>2002</sup>.

### **4.1 berekening verborgen milieukosten**

De berekeningswijze van de verborgen milieukosten kent een milieubelastingdeel en een deel over milieukosten. Het milieudeel gaat over het berekenen en vastleggen van de milieubelasting van gebouwen en in het milieukostendeel worden kosten per milieuthema aan de milieubelasting toegekend. Hier beschreven in deel B van dit rapport.

#### **4.1.1 LCA methode voor milieubelasting**

De berekeningswijze gaat over het classificeren en het monetair wegen van milieuthema's in een uitgebreider LCA kader, die essentieel is bij een integrale analyse en aanpak van de milieubelasting in en door de bouw. De methode van de verborgen milieukosten bouwt voort op de LCA methodologie, omdat deze fysieke, kwantitatieve en meetbare milieu-ingrepen als uitgangspunt neemt. De milieubelasting van bouwmaterialen en -producten wordt zo veel mogelijk berekend volgens de huidige standaard van de LCA (ISO 14041) in de volgende stappen:

1. vastlegging van de milieu-ingrepen volgens de huidige standaard (voor de emissies, grondstofverbruik, uitputting fossiele brandstoffen)
2. classificatie van de emissies in 8 milieuthema's en classificatie van het grondstofverbruik. De omzetting van milieu-ingrepen naar milieuthema's verloopt

via emissie-equivalenten. De emissies van een bepaalde stof worden zo omgezet in emissies equivalenten van een bepaald thema. Verzuring wordt b.v. uitgedrukt in equivalenten SO<sub>2</sub>: 1 kg SO<sub>2</sub> = 1 kg verzuringsequivalent. De classificatie is conform de LCA methodologie. In dit geval komt 1 kg NO<sub>x</sub> overeen met 0,7 kg verzuringsequivalenten. Dit levert een resultaat in kg equivalenten per milieuthema

Stap 1 en 2 toegepast per bouwproduct leveren een gekwantificeerd overzicht van de milieubelasting van een bouwproduct in kg equivalenten per milieuthema.

Voor de berekening van de verborgen milieukosten van een bouwproduct worden de kg equivalenten per milieuthema van het bouwproduct vermenigvuldigd met de duurzame preventiekosten per kg equivalent voor een thema. De duurzame preventiekosten per kg equivalent zijn gebaseerd op de kosten van preventieve maatregelen die nodig zijn om tot aan een duurzaam niveau van milieubelasting te komen. De kosten worden over de hele keten van een gebouw berekend.

**winning → transport → materialen → transport → bouwdelen → transport → gebouw**

MK + MK + MK + MK + MK + MK + MK + MK + ..... = MKGebouw

*Schema 3: Verborgen milieukosten over de hele keten.*

**4.1.2 preventiekosten (kosten van preventieve maatregelen)**

Maatregelen tot het voorkomen van milieubelasting kunnen in drie categorieën ingedeeld worden, conform de drie stappen strategie, zoals deze door SOM is uitgewerkt onder leiding van prof.ir. Kees Duijvestein:

- 1) beperk de vraag, vrij vertaalt luidt dat minder bouwen en verbouwen;
- 2) gebruik duurzame en/of vernieuwbare grondstoffen, of het verschuiven van de bouwcapaciteit naar minder milieubelastende productie;
- 3) technische toevoegingen aan en aanpassingen van het productieproces van bouwmaterialen en bouwdelen van wieg tot graf (alsmede aan de consumptieprocessen van het gebouw en haar bouwdelen).

Ad 1)

Minder bouwen en verbouwen; deze oplossing is een voor de hand liggende keus om de milieubelasting te verminderen. In uitzonderingsgevallen, denk aan een verbouwing om het energieverbruik van een gebouw te verminderen, zal een verbouwing of nieuwbouw kunnen leiden tot een vermindering van de milieubelasting, in bijna alle andere gevallen wordt extra milieubelasting veroorzaakt door bouwactiviteiten.

Ad 2)

Structurele maatregelen; d.w.z. vermindering van de milieubelastende activiteit. Als voorbeeld zou het gebruik van oud glas kunnen gelden bij de productie van glaswol of geperst vlaszaad (lijnolie) als basis voor verf in plaats van aardolie. Deze maatregelen worden veelal pas in overweging genomen als de technische maatregelen niet toereikend zijn om de gewenste reductie te bereiken, terwijl volgens de drie stappen strategie hier eerst aan gedacht zou moeten worden.

Ad 3)

Technische maatregelen: het productieproces wordt aangepast door:

- a) end-of-pipe toevoegingen, waarbij de installatie niet wordt aangetast;

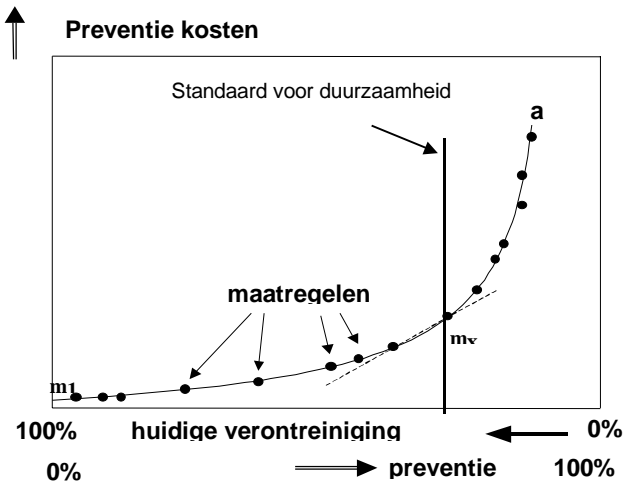
b) procesgeïntegreerde voorzieningen, waarbij de installatie wordt gewijzigd. Milieubescherpende activiteiten (luchtfilters etc. bij schoorstenen, verbeterde opslag om lekkage en verlies tegen te gaan) en activiteiten op het gebied van het verminderen en verwerken van afvalstoffen (eliminatie en verwerking van verontreinigde stoffen, afvalwater voordat deze weer in het milieu gebracht worden) zijn end-of-pipe maatregelen. Onder procesgeïntegreerde technische maatregelen vallen energie- en grondstofbesparende technologieën en de ontwikkeling van milieuvriendelijke processen. Ook productaanpassingen om milieubelasting bij gebruik of in de afvalfase te voorkomen vallen onder technische maatregelen.

**4.1.3 kosten effectiviteit curve**

Een kosteneffectiviteit curve kan worden gebruikt om bij benadering de kosten te bepalen van het overbruggen van de afstand tussen de feitelijke milieubelasting en de standaard voor duurzame milieubelasting. Het opstellen van een “kosten –effectiviteitcurve” gaat als volgt:

De preventieve maatregelen kosten geld. Deze maatregelen worden geordend in oplopende volgorde “kosten per equivalent eliminatie”. De aanbodcurve is opgebouwd uit de (oplopende) kosten van de maatregelen, die de belasting van het milieu bij de bron elimineren. Deze milieukosten worden preventiekosten genoemd.

Door een “kosten – effectiviteitcurve” te construeren van de maatregelen om het milieuprobleem te elimineren tot aan het duurzame niveau kunnen de minimale kosten van het totaal van de (technische) maatregelen - nodig om de duurzaamheidsnorm te halen - gevonden worden.



Afbeelding 4: Een voorbeeld van een (virtuele) preventiekosten curve.

Volgens afbeelding 4 zijn de maatregelen m1 tot en met mx nodig en voldoende om tot een duurzaam niveau van milieubelasting te komen.

Maatregel m1 bespaart cc kg equivalent bij dd euro per equivalent

Maatregel 1 voorkomt z1 kg equivalenten en kost y1 euro

Maatregel 2 voorkomt z2 kg equivalenten en kost y2 euro

.....

Maatregel  $x$  voorkomt  $z_x$  kg equivalenten en kost  $y_x$  euro

De som van  $z_1 + z_2 + \dots + z_x$  kg equivalenten is de hoeveelheid emissie, die voorkomen moet worden om een duurzaam niveau van milieubelasting te bereiken.

Voor deze preventie is de volgende som geld nodig:  $y_1 + y_2 + \dots + y_x$  euro. Gemiddeld wordt er dan per equivalent  $(z_1 + z_2 + \dots + z_x) / (y_1 + y_2 + \dots + y_x)$  uitgegeven.

Dit zijn de (virtuele) duurzame preventiekosten, die gehanteerd worden als de verborgen milieukosten voor emissies bij haar berekeningen van milieukosten van gebouwen.

#### 4.1.4 (virtuele) preventiekosten zijn gemiddelde duurzame preventiekosten

De methode met de verborgen milieukosten werkt met de totale minimale preventiekosten die nodig zijn om de milieubelasting te elimineren tot een duurzaam niveau. Onder de totale kosten wordt verstaan de som van de preventiekosten van de maatregelen, die nodig zijn om een duurzaam niveau van milieubelasting te verkrijgen. Dit gebeurt per milieuthema met de daarbij behorende milieu equivalenten (b.v. verzuring met verzuringsequivalenten). Voor de milieukosten per milieu equivalent worden de totale milieukosten gedeeld door het aantal equivalenten milieubelasting wat geëlimineerd wordt. De methode verborgen milieukosten werkt dus met gemiddelde preventiekosten.

#### 4.1.5 volledig en omvattend

Bij het gebruik van preventiekosten als omvattende maat voor de milieubelasting moet voldaan zijn aan de voorwaarde, dat alle (relevante) milieu-ingrepen vermeden worden. Als het erom gaat het geheel van de effecten te omvatten, moeten de effecten zover voorkomen worden dat er geen schadelijke effecten optreden (NSAEL, no significant adverse effect level).

#### 4.2 verborgen milieukosten als economische maat

De verborgen milieukosten voor producten zijn economisch een juiste maat voor de milieubelasting van een product, als ervan uitgegaan wordt, dat er een maatschappelijke voorkeur bestaat voor het verkrijgen en handhaven van een duurzaam niveau van milieubelasting.

De verborgen milieukosten als dé economische maat voor de milieubelasting van een product berust op de veronderstelling van een vrijwel absolute keuze voor de toekomstige beschikbaarheid van voor de mens vitale milieufuncties. Dit houdt in, dat de samenleving op wereldschaal de wens heeft duurzaamheid te bereiken, losstaand van de kosten die daarvoor nodig zijn.

In de praktijk kan een veronderstelling over preferenties de vorm aannemen van normen voor de beschikbaarheid van milieufuncties.

Als in de maatschappij geen vraag naar duurzaamheid zou bestaan, verliest de berekening van de verborgen milieukosten haar economische zeggingskracht. De betekenis van de milieukosten blijft natuurlijk gelijk.

#### 4.3 marginale huidige milieukosten

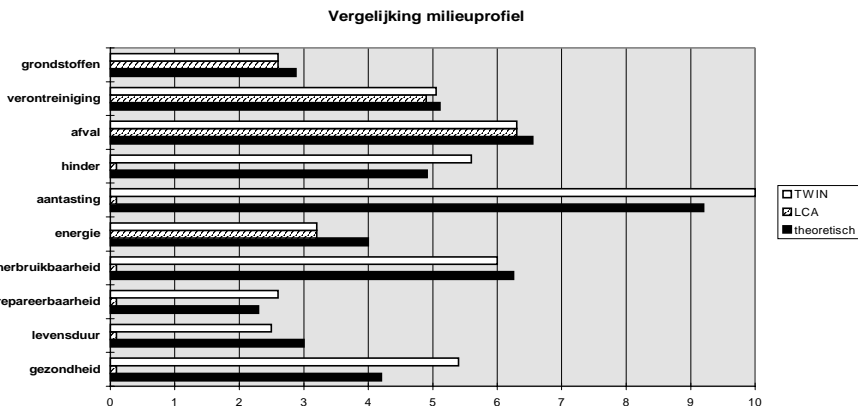
De methode verborgen milieukosten gaat van een maatschappelijke voorkeur voor een duurzame milieubelasting uit. Op dit ogenblik wordt het duurzame niveau van milieubelasting nog niet bereikt. Dit impliceert, dat deze voorkeur nog niet volledig tot uitdrukking wordt gebracht in de huidige maatregelen, die getroffen worden om de milieubelasting tegen te gaan. Er zullen hiervoor maatregelen getroffen moeten worden.

Een ander soort preventiekosten heeft betrekking op maatregelen, die – b.v. op grond van strengere wetgeving met betrekking tot emissies - uitgevoerd zijn. De kosten van de getroffen maatregelen geven aan wat de maatschappij op dit ogenblik ten minste bereid is te betalen voor het tegengaan van milieuvervuiling. Hierbij geven deze maatregelen (per milieuequivalent) de grens aan van wat we op dit ogenblik daadwerkelijk betalen – en dus ook minimaal bereid zijn te betalen - om milieuverontreiniging te bestrijden. Dit zijn de kosten, die we moeten betalen als we ten opzichte van de huidige milieubelasting 1 kg milieuequivalent meer willen voorkomen. Het gaat hierbij om preventiekosten per eenheid emissie om 1 eenheid meer emissie tegen te gaan dan nu het geval is. Het zijn de kosten van de goedkoopste van de mogelijke maatregelen om verder te gaan met preventie ten opzichte van het huidige niveau. Dit zijn marginale kosten van de in de praktijk te brengen maatregelen.

Van beide soorten preventiemaatregelen kan een kosten-effectiviteitscurve gemaakt worden. Over het algemeen liggen de daadwerkelijk gemaakte kosten voor preventie per kg milieuequivalent (veel) lager, dan de kosten per milieuequivalent die nog gemaakt moeten worden om duurzaamheid te bereiken. Dit is logisch, want de goedkoopste maatregelen worden over het algemeen het eerst in de praktijk gebracht. Daar waar de huidige marginale bestrijdingskosten ophouden, beginnen eigenlijk pas de preventiekosten, zoals in dit rapport de preventiekosten gedefinieerd worden. De goedkoopste kosten van de in de praktijk te brengen maatregelen om emissies te voorkomen, liggen qua kostenniveau aan het begin van de curve die de kosten per kg milieuequivalent aangeeft, die nog gemaakt zouden moeten worden om een duurzaam niveau te halen.

**5. Wetenschappelijke inbedding**

Ten grondslag aan de normatieve indicator verborgen milieukosten ligt een objectieve descriptieve beschrijving van de feitelijke toestand van de milieubelasting. Dat wil zeggen dat de basis voor de verborgen milieukosten gegeven wordt door een beschrijving van de feitelijke toestand van de milieubelasting van een product. Deze feitelijke beschrijving vindt plaats via de internationaal erkende methode van levenscyclusanalyse (LCA-methode CML) en wordt verder aangevuld door informatie uit het TWIN-model [Haa97] en de Eco-Indicator 99 [Goe00].



Afbeelding 5: Voor ondertekening zie volgende pagina.

Nederlands Instituut voor Bouwbiologie en Ecologie Postbus 229 1400 AE Bussum tel. 035-6948233 fax 035-6950042 www.nibe.info

*Afbeelding 5: In deze grafiek zijn de mogelijkheden te zien die met het TWIN-model kunnen, de onderste (zwarte) balk is de theoretisch mogelijke milieubelasting van het product (die misschien pas over 50 jaar daadwerkelijk bekend zal zijn), de middelste (gestreepte) balk laat de resultaten van een LCA-studie zien (volgens CML-1), met slechts een beperkt aantal milieumaten en altijd benaderd vanuit de voorzichtige kant, de bovenste (witte) balk laat de mogelijkheden zien van het TWIN-model, de LCA resultaten kunnen verwerkt worden, terwijl de overige volgens worst-case analyse worden ingeschaald; het geheel overziend ontstaat een veel zuiverder beeld dan wanneer alleen met een LCA gewerkt wordt (TWIN-2002 werkt vergelijkbaar, maar dan op basis van CML-2)*

### 5.1 LCA en TWIN

De berekeningswijze gaat over het classificeren en het monetair wegen van milieuthema's in een uitgebreider LCA kader, die essentieel is bij een integrale analyse en aanpak van de milieubelasting in en door de bouw. De milieubelasting van bouwmaterialen en -producten wordt berekend volgens de huidige standaard van de LCA CML-2, met Eco-Indicator 99 en TWIN (TWIN<sup>2002</sup>, zie F1.4) als uitbreiding voor classificatie [Haa97]. De verborgen milieukosten bouwt voort op de LCA methodologie, omdat deze fysieke, kwantitatieve en meetbare milieu-ingrepen als uitgangspunt neemt. Deze vormen de basis voor een wetenschappelijke kwantificering van de milieubelasting. Het TWIN-model geldt als een aanvulling op de nog niet kwantificeerbare eenheden bij LCA-studies. En dat deze aanvulling noodzakelijk is om een zo dicht mogelijke benadering van de werkelijke milieubelasting te bereiken, blijkt uit afbeelding 5.

### 5.2 kosten effectiviteit curves

De methodiek, die gebruikt is om de kosten effectiviteit curves te berekenen is afkomstig uit 'Final report on calculation of a sustainable national income according to Hueting's methodology' [IVM00]. In grote lijnen komt de methodiek overeen met de methodiek, die het CBS en het RIVM gebruiken [CBS94, RIVM96]. Deze methodiek is gebaseerd op de 'Methodiek Milieukosten [VROM94].

De berekening van 'duurzame milieukosten' is zeer complex. Wat betreft de complexiteit van de berekening voor preventiekosten van technische maatregelen kan een onderscheid in drie categorieën gemaakt worden:

- deelbenadering*: Alle technische maatregelen worden apart en onderling onafhankelijk beschouwd. De CBS benadering is hiervan een voorbeeld.
- retrospectieve benadering*: De onderlinge afhankelijkheid tussen een bepaalde maatregel en alle voorgaande maatregelen wordt in beschouwing genomen.
- geïntegreerde benadering*: Deze gebruikt een volledig model van de economie om de optimale mix van alle mogelijke maatregelen te bepalen.

De Milieukosten van GreenCalc en het TWIN<sup>2002</sup>-model worden volgens a) de benadering van het CBS berekend.

Om de kosten effectiviteit curves voor de verschillende thema's te berekenen wordt gebruik gemaakt van een lijst met maatregelen. Van elke maatregel worden de jaarlijkse kosten en effecten bepaald, waaruit de kosteneffectiviteit van de maatregel weer bepaald worden. De kosteneffectiviteit wordt hier gedefinieerd als de kosten in Euro's per eenheid vermeden emissie (= per voorkomen kg milieuequivalent voor een bepaald thema).

Het effect van een maatregel wordt bepaald door de vermindering van de emissies van verschillende stoffen (effecten op de milieubelasting).

In de lijst zijn alleen technische maatregelen opgenomen, dat wil zeggen alleen maatregelen die erop gericht zijn de milieubelasting door productie en consumptie te verminderen. Er wordt niet gekeken naar structurele maatregelen, zoals volumebeleid (punt 1 'minder bouwen' van paragraaf 4.1.2) en organisatorische maatregelen.

In de Methodiek Milieukosten [VRO98] worden milieukosten zeer stringent gedefinieerd: maatregelen, die geld opbrengen worden niet tot milieukosten gerekend. Bij het berekenen van de totale kosten om de duurzaamheidsstandaard te bereiken, dienen deze kosten wel te worden mee genomen, omdat alleen zo een beeld van de totale kosten ontstaat om emissies met technische maatregelen te verminderen.

### 5.3 validiteit

Iedere methode is zo valide als de delen waaruit zij is samengesteld. Dat geldt ook voor de monetarisering zoals in GreenCalc en TWIN<sup>2002</sup> wordt toegepast.

#### 5.3.1 milieu-ingrepen

De gegevens over de milieueffecten die bij de monetarisering gebruikt zijn bij de berekeningen zijn afkomstig van gerenommeerde wetenschappelijke databases. Voor gegevens over de milieu-ingrepen met betrekking tot de emissies die betrekking hebben op de milieuthema's: broeikaseffect, ozonlaag aantastende stoffen, humane toxiciteit, aquatische toxiciteit, terrestrische toxiciteit, fotochemische oxidantvorming, verzurende stoffen en vermistende stoffen van bouwmaterialen en –producten wordt gebruik gemaakt van:

- IVAM Environmental Research database (NL)
- Franklin (USA)
- TUD-Idemat database (NL)
- Pré database bij SimaPro (NL)
- Betondatabase (NL)
- VLCA data (NL).

Waar mogelijk worden de data aangevuld met gegevens van producenten, voorzover die data onafhankelijk verkregen zijn. Steeds wordt de nieuwste versie van de betreffende database gebruikt.

Ook de gegevens omtrent 'uitputting van biotische en abiotische grondstoffen en fossiele energiedragers' voor bouwmaterialen zijn uit bovenstaande databases afkomstig.

#### 5.3.2 kwantificering tot de milieuthema's

De kwantificering tot milieuthema's (broeikaseffect, ozonlaag aantastende stoffen, humane toxiciteit, aquatische toxiciteit, terrestrische toxiciteit, fotochemische oxidantvorming, verzurende stoffen en vermistende stoffen) verloopt conform de LCA methodologie volgens CML-2.

#### 5.3.3 levensduur

De gegevens met betrekking tot de levensduur van bouwproducten en bouwdelen in hun toepassing zijn afkomstig uit de publicatie van de Stichting Bouwresearch (1998) op dit gebied [SBR98].

**DEEL B: MILIEUKOSTEN**

**1. Verontreiniging**

Verontreiniging omvat verschillende milieuthema's, die per paragraaf apart besproken worden. Per milieuthema wordt eerst de duurzaamheidsstandaard en de daarmee gerelateerde noodzakelijke emissiereductie aangegeven. Op basis van de noodzakelijke emissiereductie is gekeken welke maatregelen daarvoor nodig zijn en welke kosten daarmee gemoeid zijn.

**1.1 broeikasgassen**

*1.1.1 gewenste emissiedruk*

De emissies van CO<sub>2</sub> equivalenten is de afgelopen 10 jaar verder toegenomen en de concentratie van CO<sub>2</sub> in de atmosfeer sterk gestegen. De uitstoot van CO<sub>2</sub> bedraagt:

- Op wereldschaal: totaal 25 miljard ton, per hoofd 5 ton
- Voor Nederland: totaal 185 miljoen ton, per hoofd 12 ton

De concentratie van CO<sub>2</sub> is toegenomen van:

- 1800 ca. 280 ppmv,
- 1900 ca. 295 ppmv,
- 1950 ca. 310 ppmv,
- 1990 ca. 355 ppmv,
- 1997 370 ppmv

Methaan, stikstofdioxide (N<sub>2</sub>O), en CFC11 – andere belangrijke broeikasgassen - geven een zelfde beeld te zien.

Om een stabilisatie van de CO<sub>2</sub> concentratie in de atmosfeer te krijgen op het niveau van 390 ppmv in 2050 – ter vergelijking; voorindustriële niveau (1800) ca. 280 ppmv en 1990 niveau ca. 350 ppmv - was vanaf 1990 een jaarlijkse 2% vermindering van de CO<sub>2</sub> uitstoot nodig geweest.

Zelfs een 50% vermindering van de CO<sub>2</sub> emissie ten opzichte van 1990 zal tot een stijging van de CO<sub>2</sub> concentratie leiden van ca. 390 ppmv in 2040.

**Aanname / Definitie:**

*Voor een CO<sub>2</sub> concentratie in de atmosfeer, waarbij geen nadelige effecten optreden, moet de CO<sub>2</sub> emissies ten opzichte van 1990 tenminste met 50% afnemen*

Een 50% reductie wereldwijd voor de CO<sub>2</sub> emissies, betekent een vermindering naar 12,5 miljard ton. Een uitstoot van 12,5 miljard ton per jaar veronderstellen we als duurzaam.

Als de wereldbevolking gelijk blijft, betekent dat een per hoofd uitstoot van 2,5 ton per jaar. Als we niet meerekenen, dat Nederland jarenlang veel te veel CO<sub>2</sub> heeft uitgestoten en dus deze 'schuld' zou moeten inlopen, dan is 2,5 ton per jaar per hoofd ook in Nederland het duurzame niveau.

Ten opzichte van het huidige niveau van 12 ton betekent dit een reductie van 80%.

*Voor een "duurzaam" niveau moet de uitstoot in Nederland met 80% afnemen.*

Gezien het gegeven, dat Nederland zich tot doel heeft gesteld een duurzame ontwikkeling binnen 1 generatie te realiseren, zou tenminste een emissiereductie van 50% binnen 1 generatie tot stand gebracht moeten worden. Gerekend vanaf 1990 betekent dat: vóór 2015.

De jaartallen zijn belangrijk, omdat de kosten om in de resterende 15 jaar de reductie te realiseren (veel) hoger zijn, dan de kosten om deze reductie in 25 of zelfs 40 jaar te realiseren.

De preventiekosten om de noodzakelijke reductie binnen de gestelde termijn te realiseren zijn hoog.

### 1.1.2 CO<sub>2</sub> equivalenten in de bouw

De emissie van CO<sub>2</sub> in de bouw is afkomstig van:

- transport van grondstoffen, bouwmaterialen en bouwelementen,
- verhittingprocessen tijdens productie, b.v. bij productie van cement, baksteen, staal etc.
- het elektriciteitsverbruik bij processen.

Dat wil zeggen, dat (het overgrote deel van) de uitstoot van CO<sub>2</sub>-equivalenten in de bouw (direct of indirect) afkomstig is van de verbranding van fossiele brandstoffen.

De preventie van de emissies van CO<sub>2</sub> equivalenten moet komen van de overgang op duurzame brandstoffen dan wel de overgang naar duurzame elektriciteit.

*Het is niet mogelijk specifiek en alleen voor de bouw de kosten van preventie van CO<sub>2</sub> emissies te berekenen.*

(Als de CO<sub>2</sub> emissies door transport minder moeten worden, zullen niet alleen de vrachtauto's van de bouw anders gaan rijden).

Het zijn alle maatregelen samen (voor transport, voor elektriciteitsopwekking, voor verwarming, voor andere verbrandingsprocessen etc.) die de uitstoot van CO<sub>2</sub> equivalenten kunnen verminderen tot een duurzaam niveau.

#### *Conclusie:*

*De Milieukosten (MK) van CO<sub>2</sub> equivalenten voor bouwelementen zijn gelijk aan (kan gelijk gesteld worden aan) de algemene MK voor CO<sub>2</sub> equivalenten.*

### 1.1.3 milieukosten broeikasgassen

De berekening van de duurzame preventiekosten is gebaseerd op een drietal - waarvan twee gerenommeerde - studies, die uitgaan van vermijdingskosten voor het berekenen van MK voor CO<sub>2</sub>.

De eerste gerenommeerde studie is van Infrac/Prognos in opdracht van de Schweizer Bundesämter (1994), de tweede is ExternE voor Duitsland, in opdracht van de Europese gemeenschap (1995).

De beide studies gaan uit van de uitgaven voor emissiereductie tot een bepaald reductiedoel en van "marginale vermijdingskosten".

Infrac neemt voor Zwitserland een reductie van 50% CO<sub>2</sub> in 2025 als uitgangspunt voor de berekening. Dit voert tot de volgende milieukosten voor CO<sub>2</sub>: • 0,15 – • 0,20 per kg.

In de tweede studie wordt voor Duitsland als uitgangspunt voor de berekening voor 2020 een reductiedoel van 45% CO<sub>2</sub> reductie genomen ten opzichte van 1987. Dit voert tot de volgende milieukosten voor CO<sub>2</sub>: • 0,15 – • 0,25 per kg.

Het te behalen reductiedoel ligt op de grens van een duurzaam niveau. Dit betekent, dat de hier genoemde milieukosten voor CO<sub>2</sub> een ondergrens representeren ten opzichte van de milieukosten, zoals gedefinieerd (reductie tot een duurzaam niveau).

Zoals onder B1.1.2 al is gezegd, is de uitstoot van CO<sub>2</sub> equivalenten door bouwelementen voor verreweg het grootste deel (indirect) afkomstig van verbranding van fossiele brandstoffen.

Ten opzichte van Duitsland gebruikt Nederland meer gas en minder kolen. De energie-inhoud van gas is hoger dan die van kolen. (De CO<sub>2</sub> uitstoot bij verbranding is voor kolen 2x zo hoog per kWh als bij gas). De reductiekosten per ton voor gas en kolen zijn ongeveer gelijk. De reductiekosten per kg CO<sub>2</sub> zijn bij verbranding van gas dus lager dan bij kolen.

Hieruit volgt, dat voor Nederland bij een emissiereductie van 45% in 2020 ten opzichte van 1989 (verschijnen eerste NMP) milieukosten voor CO<sub>2</sub> vast te stellen zijn in de bandbreedte van • 0,091 - • 0,182 per kg CO<sub>2</sub>

NB. een reductiedoel van 45% op een kortere termijn (bijvoorbeeld 2010) leidt natuurlijk ook tot een sterke verhoging van de milieukosten per kg CO<sub>2</sub>.

*Voor CO<sub>2</sub> uitstoot bij bouwelementen kunnen als ondergrens de volgende milieukosten per kg aangehouden worden: • 0,091 - • 0,182 per kg CO<sub>2</sub>.*

### 1.2 ozonlaagaantasting

De ozonlaag in de stratosfeer is een filter tegen U.V. straling en daarmee een belangrijke bescherming voor het leven op aarde. Ozon in de stratosfeer (aanwezig tussen de 20 en 40 km hoogte) wordt continu afgebroken en aangemaakt. De ozonlaag is over miljoenen jaren een stabiele laag gebleven, omdat er een balans was tussen aanmaak en afbraak. Ozon wordt afgebroken door U.V. straling en door chemische reacties, waarin reactieve waterstof, stikstof, chloor en broom componenten een rol spelen als katalysator.

CFK's (chloorfluorkoolwaterstoffen), halonen en andere vluchtige gechloreerde koolwaterstoffen zijn stoffen, die leiden tot afbraak van de ozonlaag in de stratosfeer. Deze stoffen zijn in het verleden op grote schaal geproduceerd, zijn daarna langzamerhand in het milieu gekomen en hebben tot de gaten in de ozonlaag geleid.

Effecten van verhoogde UV straling zijn o.a.:

- verhoogde sterfte van zooplankton, vissterfte, verminderde oogsten
- toename van sterfgevallen door huidkanker.

Reviews van de UNEP [UNE97] maken een kwantitatief verband duidelijk tussen afbraak van de ozonlaag, toename van UV straling en b.v. afname van (zee-)larven productie. De relatie tussen toename van sterfgevallen door huidkanker en de gemiddelde hoeveelheid UV straling, die een mens in zijn leven te verduren krijgt, is o.a. vastgesteld door Slaper et al. [Sl92].

#### 1.2.1 duurzaamheidsniveau

Ozonlaag aantastende stoffen zijn vaak toevoegingen aan een product. Deze stoffen zijn erg stabiel en komen vaak pas aan het einde van de levensduur van het product in

het milieu. Het duurt jaren voordat deze stoffen de stratosfeer bereiken. Zelfs nadat wereldwijd de productie van ozonlaag aantastende stoffen zou zijn gestopt, gaan er nog tientallen jaren voorbij, voordat de laatste van deze stoffen de stratosfeer hebben bereikt en daar hun afbrekende werking kunnen uitoefenen.

Gezien de stand van de ozonlaag en de lange verblijftijd van de ozonlaag aantastende stoffen is het buffervermogen van de atmosfeer al overschreden. Elke verdere emissie brengt schade aan de ozonlaag toe. Het duurzame niveau van ozonlaag aantastende emissies is vanuit dit gezichtspunt dan ook voor een groot aantal jaren de nulmissie, totdat de ozonlaag zich weer hersteld heeft.

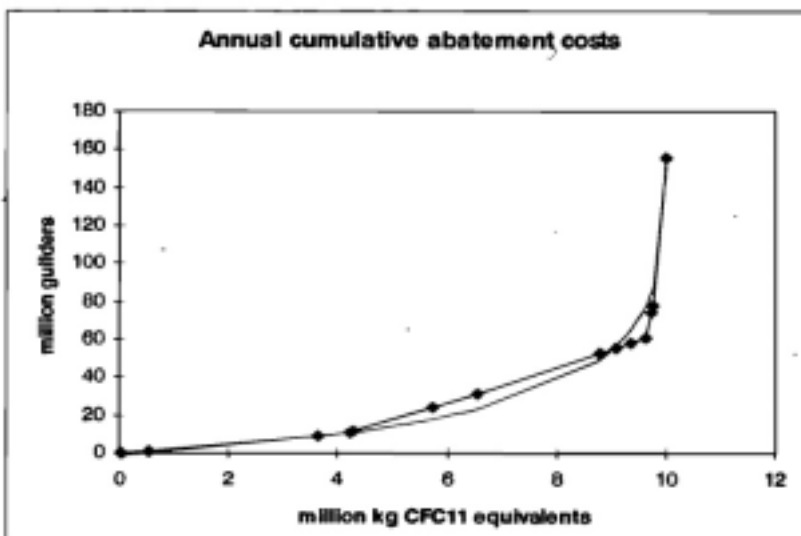
Bij een geringe uitstoot van ozonlaag aantastende stoffen, zal er op termijn een nieuw evenwicht ontstaan tussen afbraak en aanmaak van stratosferisch ozon, echter op een wat lager niveau. Het niveau aan ozonlaag aantasting, waarbij er nu en op de langere termijn nog geen onomkeerbare schade ontstaat, bepaalt het lange termijn duurzaamheidsniveau. Dit niveau wordt gekenmerkt door de volgende drie criteria:

- zeesoorten beschermen tegen uitsterven en tegengaan van grote verliezen in de populatie van o.a. plankton
- extra sterfgevallen door huidkanker ten gevolge van extra UV straling beperken tot 1 tot 10 doden per miljoen inwoners
- tegengaan van gaten in de ozonlaag.

Deze criteria leiden tot een bovenlimiet van ca. 50 tot 150 miljoen kg CFK uitstoot per jaar wereldwijd. Vergeleken met de emissie in 1990 (1.170 miljoen kg CFK<sub>11</sub>) betekent dit een reductie van 87% tot 95%.

### 1.2.2 milieukosten

Ozonlaagaantastende stoffen zijn vaak toevoegingen aan een product en ze komen vaak pas aan het einde van de levensduur van een product in het milieu. Verbeteringen



van het productieproces als betere filters helpen niet. De preventie zal bereikt moeten worden door over te gaan op niet schadelijke substituten.

In de bouw kwamen ozonlaagaantastende stoffen vooral voor in schuimen. De preventie is in dit geval eenvoudig: het gebruik van schuimen, waarin geen ozonlaag aantastende stoffen voorkomen. Deze schuimen zijn ook ruimschoots voorhanden. De  $MK_{GrC}$  - als preventiekosten - zijn in dit geval de extra kosten voor het niet schadelijke product.

De kosten voor de overgang naar producten zonder ozonlaag aantastende stoffen zijn bij GreenCalc nog niet bekend. Omdat deze kosten nog niet bekend zijn, worden de milieukosten uit de vorige versie gebruikt. In deze versie (v1.0) werden preventie- of schadekosten als maat genomen. Voor de  $MK_{ozonlaagaantasting}$  zijn nog schadekosten genomen. Er waren bij het opstellen van de milieukosten indertijd alleen milieukostengegevens beschikbaar voor broeikas effect, verzuring, vermisting, afval en energie. De milieukosten voor ozonlaagaantasting zijn toen afgeleid op basis van evenredigheid van de gewogen milieubelasting in het TWIN-model (zie F1.3).

Als de preventiekosten beschikbaar komen, zal een herberekening plaatsvinden. Het is te verwachten dat de  $MK_{ozonlaagaantasting}$  dan veel lager zullen uitvallen.

Volgens de methode van preventiekosten wordt in deze versie met een te hoog bedrag per equivalent  $MK_{ozonlaagaantasting}$  gerekend. Dit kan zonder grote consequenties, omdat de bouwmaterialen / bouw delen, die het meeste bijdragen aan de MK op gebouwniveau (beton, staal, steen en glas) in hun levenscyclus nauwelijks ozonlaagaantastende emissies kennen. Deze zijn zo gering, dat zelfs als ze met een bedrag van • 5.724,69 per kg equivalent vermenigvuldigd worden, ozonlaagaantasting nog slechts marginaal bijdraagt aan de totale MK.

### 1.3 toxiciteit (humaan, aquatisch en terrestrisch)

#### 1.3.1 milieukosten

De milieukosten voor de toxiciteitscriteria zijn afgeleid van de milieukosten voor de milieueffecten wintersmog, zware metalen en pesticiden uit GreenCalc v1.0. Deze milieueffecten maakten deel uit van de Eco-indicator '95 methode die gebruikt werd binnen de totale milieubeoordeling met het TWIN-model (zie F1.3). Indertijd waren bij het opstellen van de milieukosten alleen milieukostengegevens beschikbaar voor broeikas effect, verzuring, vermisting, afval en energie. De milieukosten voor de criteria wintersmog, zware metalen en pesticiden zijn toen afgeleid op basis van evenredigheid van de gewogen milieubelasting in het TWIN-model.

Voor de bepaling van de milieukosten van carcinogenen (die geen onderdeel uitmaakte van de milieubeoordeling in het TWIN-model, maar wel van de Eco-indicator '95) is dezelfde methode gehanteerd voor afleiding op basis van evenredigheid van de gewogen milieubelasting. Daarnaast zijn de milieukosten voor carcinogenen bepaald op basis van de schaduwprijs van CE voor verspreiding van benzo(a)pyreen naar de lucht (Van Soest et al, 1997). Beide bepalingen van de milieukosten voor carcinogenen gaven hetzelfde resultaat.

Voor de uiteindelijke berekening van de milieukosten voor de toxiciteitscriteria is gebruik gemaakt van het processchema "Environmental pollution in (Western, red.) Europe 1995", IVAM LCA data versie 3.01. Het totaal aan milieukosten, gekarakteriseerd met de Eco-indicator '95 methode voor wintersmog, zware metalen, pesticiden en carcinogenen,

is gedeeld door het totale aantal toxiciteitsequivalenten op basis van de CML-2 methode voor humane toxiciteit, aquatische toxiciteit (zoet water) en terrestrische toxiciteit. Zoals bij de uiteenzetting van de methode genoemd is de aquatische toxiciteit voor zeewater buiten beschouwing gelaten.

Daarmee worden de MK voor humane, aquatische en terrestrische toxiciteit vastgesteld op • 0,048 / kg 1,4-DB eq.

#### 1.4 fotochemische oxidantvorming

##### 1.4.1 *gewenste emissiereductie*

Vluchtige organische stoffen (VOS) worden, in aanwezigheid van stikstofoxiden, in de troposfeer onder invloed van zonlicht geoxideerd, waarbij ozon ontstaat. Verhoogde ozonconcentraties schaden natuurlijke vegetatie en landbouwgewassen en de zomerpiek concentraties hebben een negatieve invloed op de longfunctie en veroorzaken irritaties.

Het uitgangspunt voor het bepalen van de duurzaamheids norm is, dat er geen schadelijke uitwerkingen op mensen en geen (significant) negatieve uitwerkingen op ecosystemen mogen ontstaan door fotochemische oxidantvorming.

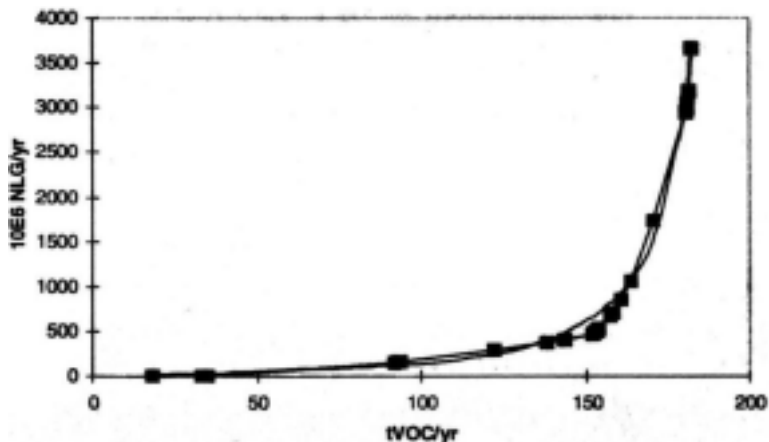
Voor de bescherming (van de gezondheid) van de mens en voor ecosystemen kan het gemiddelde van de 98-percentielen van de ozonconcentratie op leefniveau genomen worden. In 1990 is deze norm met 3,5% overschreden voor mensen en 13% voor ecosystemen (RIVM 1995).

Om de gemiddelde piekconcentratie met 13% te verlagen moet de uitstoot van VOS flink verlaagd worden. Het NMP2 heeft als doel de VOS terug te brengen tot 117 mln. kg/ jaar voor 2010.

Deze norm wordt als het duurzame niveau genomen. Om tot dit duurzame niveau van emissies van VOS te komen moeten de emissies met ca. 170 mln. kg afnemen (stand 1992).

##### 1.4.2 *milieukosten fotochemische oxidantvorming equivalenten*

De kosten om de VOS emissies met ca. 170 mln. kg te verminderen om tot duurzaamheid te komen bedragen ca. • 750 miljoen op jaarbasis. Per VOS equivalent komt dat neer op ca. • 4,402.



## 1.5 verzuring

### 1.5.1 niet schadelijke verzurende depositie

De stoffen die verzuring veroorzaken zijn de emissies van stikstofoxiden ( $\text{NO}_x$ ), zwaveloxiden ( $\text{SO}_2$ ) en ammonia ( $\text{NH}_3$ ). De stikstof- en zwaveloxiden zijn voornamelijk afkomstig van de verbranding van fossiele brandstoffen en ammonia van de landbouw.

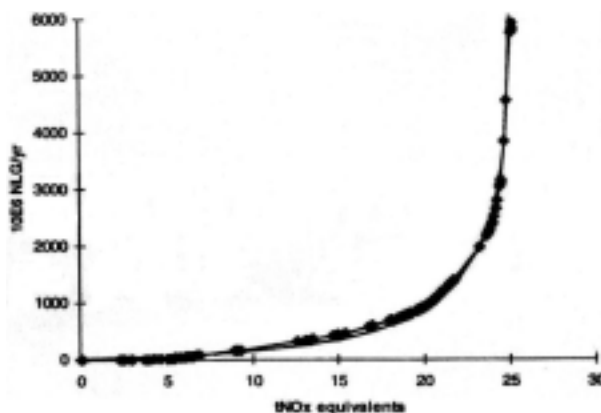
Of het niveau van de verzurende emissies nog duurzaam is, wordt bepaald of de neerslag van de verzurende equivalenten nog onder de neutralisatiecapaciteit van de bodem ligt. Een kleine hoeveelheid zure neerslag wordt geneutraliseerd door de grond. Daarboven wordt de bodem zuurder. Een duurzame verzurende neerslag is dan ook een neerslag die over de jaren gezien geen verandering van de zuurtegraad van de bodem tot gevolg heeft.

Ecosystemen kunnen erg gevoelig zijn voor een verandering van de zuurtegraad van de bodem. Er verdwijnen soorten. Niet elk systeem is even gevoelig voor een verandering in de pH (zuurtegraad). Bij aquatische ecosystemen ligt de duurzaamheidsgrens als de pH lager dan 6,5 - 6 wordt.

In het eerste Nationaal MilieubeleidsPlan (NMP) 1989 wordt 1400 zuur equivalenten genoemd als een maximaal toelaatbare waarde voor een langdurige belasting. Uit onderzoek blijkt dat bij kwetsbare gebieden eerst bij een standaard van 800 zuur equivalenten 'geen verstoring aan ecosystemen' optreedt. De uitstoot - van ca. 970 mln. kg  $\text{SO}_2$  equivalenten (1992) - moet hiervoor teruggebracht worden tot ca. 165 mln. kg  $\text{SO}_2$  equivalenten per jaar.

### 1.5.2 milieukosten verzuring

De MK verzuring zijn weer opgebouwd uit de oplopende kosten van de maatregelen om verzurende emissies tegen te gaan. Daar deze emissies voornamelijk afkomstig zijn van de verbranding van fossiele brandstoffen, zullen ook de preventieve maatregelen op dit gebied moeten liggen. Voorlopig wordt dan ook gewerkt met de algemene MK voor verzuring. Als de gegevens bekend zijn van de specifieke maatregelen om verzurende emissies in de bouw tegen te gaan, zullen deze overgenomen worden.



De kosten van de maatregelen om de verzurende emissies terug te brengen tot ca. 165 mln. kg SO<sub>2</sub> equivalenten per jaar bedragen ca. • 2,723 per kg SO<sub>2</sub> equivalent.

In GreenCalc, versie 2.0, wordt nog met de veel lagere waarde van • 0,0045 per kg SO<sub>2</sub> equivalent gerekend. Dit leidt tot een zware onderwaardering van het thema verzuring. Toepassen van Mk<sub>verzuring</sub> van • 2,723 per kg SO<sub>2</sub> equivalent kan tot 5 tot 10% hogere MK op gebouwniveau leiden.

## 1.6 eutrofiëring

### 1.6.1 Gewenste reductie eutrofiërende stoffen

Eutrofiëring –overbemesting - leidt tot verandering en vermindering van soorten. Vermesting wordt veroorzaakt door fosfor (P) in de vorm van fosfaat en stikstof (N) in de vorm van ammonia, nitraat en stikstofoxiden (naar de lucht). Ze zijn voor het grootste deel afkomstig van het bemesten van het land. Emissies van stikstofoxiden en ammonia naar de lucht dragen ook bij.

Eutrofiëring van natuur- en natuurachtige gebieden vindt indirect plaats door de depositie van de emissies naar de lucht. Verder treedt eutrofiëring naar het oppervlakte water op, enerzijds door directe lozingen van fosfaten en nitraten (o.a. installaties voor afvalwater zuivering) en anderzijds door uitspoeling.

De emissies naar het oppervlakte water zijn kleiner dan die naar lucht en bodem.

Voor eutrofiëring zijn twee duurzaamheidsnormen op te stellen:

- 1) geen belasting van het grondwater met eutrofiërende stoffen
- 2) geen verhoging van de eutrofiërende stoffen in natuurlijke gebieden.

De eerste hangt samen met uitspoeling van vermistende stoffen vanuit de bodem naar het grondwater en wordt voor het grootste deel veroorzaakt door de directe bemesting van de bodem in de landbouw.

De tweede heeft met de dispositie vanuit de lucht te maken en daarmee met de emissie van P en N naar de lucht.

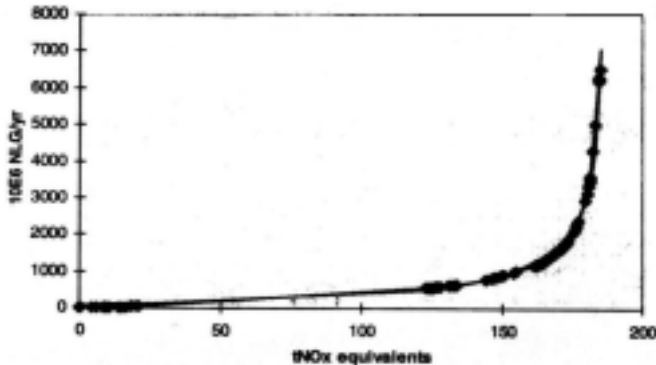
Om aan beide normen te voldoen, zou de totale uitstoot aan eutrofe stoffen moeten dalen – van ca 200 mln. kg fosfaat equivalenten per jaar (1990) – naar ca. 18 mln. kg fosfaat equivalenten.

De hoogste uitstoot vind plaats naar de bodem (landbouw) en daar is ook de belangrijkste bijdrage aan de emissiereductie te verwachten. GreenCalc beschouwt niet de eutrofe emissies naar de bodem, omdat deze in de bouw geen rol spelen. De uitstoot van eutrofe emissies naar lucht (ammonia en stikstofoxiden) zou moeten dalen van ca 40 mln. kg fosfaat equivalenten per jaar (1990) naar ca. 8,5 mln. kg fosfaat equivalenten.

### 1.6.2 milieukosten fosfaatequivalenten

De preventiekosten voor het tegengaan van eutrofiëring worden voornamelijk door de maatregelen om de emissies van NO<sub>x</sub> en NH<sub>3</sub> naar de lucht tegen te gaan. De maatregelen voor het reduceren van de emissies naar de bodem (en water) worden voornamelijk gevonden in de sectoren landbouw, industrie en afvalwaterzuivering. Met relatief weinig geld kan daar een groot deel van de benodigde reductie gerealiseerd worden. De belangrijkste maatregel hier is het elimineren van de overbemesting in de landbouw. Echter deze maatregelen zijn niet voldoende om de uitstoot tot onder de normen terug te brengen. Gezien vanuit preventie tot de duurzaamheidsnormen zijn deze duurdere maatregelen wel noodzakelijk. De gemiddelde kosten voor deze maatregelen om emissies naar lucht tegen te gaan bedragen ca. • 54,454 per kg fosfaatequivalent.

GreenCalc, versie 2.0, werkt nog met de oudere waarde van • 147,48 per kg fosfaatequivalent. Dit leidt tot een verhoging van de milieukosten op gebouwniveau van ca. 5 – 10 %



## 2. Uitputting

### 2.1 Biotische en abiotische grondstoffen en energiedragers

De verborgen milieukosten zijn gebaseerd op GreenCalc v1.0. Hierin werden preventie- of schadekosten als maat meegenomen. Er waren bij het opstellen van de milieukosten indertijd alleen milieukostengegevens beschikbaar voor broeikas effect, verzuring, vermist, afval en energie. De verborgen milieukosten per milieubelastingspunt voor uitputting van biotische en abiotische grondstoffen (waaronder energiedragers) zijn toen afgeleid op basis van evenredigheid van de gewogen milieubelasting in het TWIN-model 1997 (zie F1.3).

## 3. Landgebruik

Het monetaariseringsgetal voor landgebruik is bepaald op basis van de studie 'The value of the world's ecosystem services and natural capital' van Robert Costanza [Cos97]. In deze studie zijn verschillende methodes gebruikt om zowel de marktgerelateerde als niet marktgerelateerde waarden van ecosysteme services in te schatten. Veel van de waarderingmethodes zijn direct of indirect gebaseerd op de 'bereidheid tot betaling' voor ecologische diensten door individuen. In de studie is getracht telkens de totale waarde van de ecologische services in kaart te brengen, ongeacht of ze al vermarkt worden of niet.

De studie onderscheidt diverse gebiedstypen. Daarbij ook gebieden die voor het grootste deel niet van noemenswaardig belang zijn voor de winning van grondstoffen zoals open oceanen en woestijnen. Bij de bepaling van het monetaariseringsgetal zijn deze gebieden buiten beschouwing gelaten.

De totale jaarlijkse opbrengst van de voor grondstofwinning relevante gebieden komt neer op \$ 24.932\*10<sup>9</sup> bij een totaal oppervlak van 13.785\*10<sup>6</sup> hectare. Per vierkante meter is dit \$ 0,181 dollar per m<sup>2</sup> per jaar. Hetgeen begin 2002 gelijk stond aan • 0,201 per m<sup>2</sup> per jaar.

### **3.1 achtergrond**

De diensten geleverd door ecologische systemen en de natuurlijke voorraden die deze produceren zijn essentieel voor het functioneren van het Life-Suport Systeem (LSS) van de aarde. Ze dragen, zowel direct als indirect, bij aan het welzijn van mensen en maken daarom ook deel uit van de economische waarde van de planeet aarde. Ecologische goederen (voedsel) en diensten (zoals bijvoorbeeld assimilatie) voortgekomen uit ecologische functies zijn aspecten waaraan de menselijke populatie zich te goed doet. Ecologische diensten bestaan uit materiaal- en energiestromen en informatie afkomstig van natuurlijke kapitaalvoorraden welke samengaan met fabrieksmatige en menselijke diensten omwille van menselijke welzijn.

### **3.2 monetariseren van ecologische diensten**

Het waarderen van ecologische diensten bestaat uit het bepalen van de gevolgen die kleine veranderingen in deze diensten op het menselijk welzijn hebben. Veranderingen in de kwaliteit en/of hoeveelheid van deze diensten hebben waarde voorzover ze van invloed zijn op de voordelen van menselijke activiteiten of op de kosten daarvan. Deze veranderingen in voordelen en kosten hebben invloed op menselijk welzijn via de gevestigde markt en/of niet marktgerelateerde activiteiten. Bijvoorbeeld, koraalriffen voorzien in een habitat voor vissen. Toename van deze riffen betekent een toename van de visconcentratie. Verandering van de kwantiteit en/of kwaliteit zal waarneembaar effect hebben op de commerciële of recreatieve visvangst in het desbetreffende gebied. Verandering zal echter ook effect hebben op bijvoorbeeld aspecten als recreatief diepzeeduiken en behoud van biodiversiteit. Deze komen vrijwel niet terug in economische marktberoeeningen.

De complexiteit van ecologische diensten ten behoeve van menselijk welzijn varieert van extreem simpel tot uiterst complex. Bossen voorzien in timmerhout, daarnaast houden ze aarde en vocht vast en creëren ze microklimaten, allemaal niet marktgerelateerde aspecten die op een complexe wijze, bijdragen aan het menselijk welzijn.

### **3.3 aannames en beperkingen**

De mogelijkheid tot het monetariseren van de totale ecologische diensten is wegens een aantal aspecten beperkt;

1. Landschapsaantasting is een sterk lokaal gebiedgebonden criterium. Het TWIN<sup>2002</sup>-model bepaalt daartoe per specifieke grondstof de mate van schade die in het desbetreffende ontginningsgebied ontstaat. Het monetariseringsgetal is een gemiddelde over die gebieden die voor grondstofwinning in aanmerking komen. Dit is correct, wanneer uitgegaan wordt van de onderlinge afhankelijkheid van ecologische services. Wordt de werkwijze zoals in de studie van Costanza gevolgd, dan zou er per specifieke winning gemonetariseerd dienen te worden. Dit lijkt in de praktijk (nog) geen haalbaar scenario.
2. Naast de 17 ecologische diensten die binnen de studie zijn meegenomen bestaan er nog legio andere ecologische services, waarvan op dit moment niet of zeer moeilijk de waarde te bepalen is. Zodra meer data beschikbaar komen, zal naar verwachting de totale waarde toenemen.
3. In veel gevallen zijn de waarden bepaald op basis van de 'bereidheid tot betaling' van ecologische diensten door individuen. Ook als deze slecht geïnformeerd zijn. De voorkeuren van individuen zullen niet altijd sociale gelijkheid, ecologische duurzaamheid en andere morele doelen nastreven. Met andere woorden, als we daadwerkelijk in een ecologisch duurzame, sociaal gelijke samenleving zouden leven, waarbij iedereen welbewust is van haar verband met ecologische diensten,

zouden zowel marktprijzen alsook de 'bereidheid tot betaling' van ecologische diensten verschillende resultaten genereren. De waarde van ecologische services zouden naar alle waarschijnlijkheid stijgen.

4. De waarderingsmethode gaat ervan uit dat er geen sprake is van buitengebruikstelling en/of onomkeerbaarheden van ecologische buffersystemen. Dit is vrijwel zeker niet het geval, hetgeen impliceert dat de huidige methode een onderschatting is.
5. De extrapolatie van waarden voor locale gebieden naar waarden voor mondiale gebieden gaat gepaard met fouten (zie ook ad. 8)
6. De waarden van individuele ecosystemen zouden gebaseerd moeten zijn op duurzame gebruiksniveaus. Rekening houdend met zowel draagcapaciteit (voor individuele functies als voedselproductie of afvalrecycling) als het gecombineerde effect van het gebruik van meerdere functies. Ecosystemen zouden moeten kunnen voorzien in alle functies. Momenteel is hiervan voor sommige ecosystemen zeker geen sprake door overmatig gebruik bij huidige prijsstelling.
7. Diverse individuele ecosystemen als geheel hebben een meerwaarde ten opzichte van losse systemen. Het meenemen van deze meerwaarde zou een verbetering en toename van de bepaalde factor impliceren.
8. Een interlandelijke vergelijking wordt bemoeilijkt door verschillende inkomensniveaus. In de studie van Costanza [Cos97] is gebruik gemaakt van het Bruto Nationaal Product per natie gerelateerd aan de Verenigde Staten. Dit is een grove wijze van benaderen.
9. De benadering is gebaseerd op een momentopname van iets dat in werkelijkheid een complex en dynamisch systeem is. Er is gebruikgemaakt van een statisch evenwichtsmodel in de veronderstelling dat de waarde van iedere service als onafhankelijk is afgeleid en toegevoegd. Dit gaat dus voorbij aan de complexe gecombineerde afhankelijkheid tussen de services. Het is niet ondenkbaar om een evenwichtsmodel te fabriceren waarbij wel de onderlinge functies gecombineerd worden.

Over het algemeen wordt verwacht dat, gezien de aard van de beperkingen zoals beschreven, de huidige waarde bij het beschikbaar komen van betere data zal toenemen.

#### 4. Hinder

##### 4.1 stank

Voor de berekening van de milieukosten per equivalent is gebruik gemaakt van het totale aantal huishoudens in Nederland (CBS, statline 2001, kerncijfers bevolking 1995) en de schaduwprijs voor stankgehinderde huishoudens van fl. 200,- per huishouden (Van Soest et al., 1997). De Nederlandse gegevens zijn geëxtrapolleerd naar West-Europa op basis van inwoneraantallen. Er is rekening gehouden met het percentage van de bevolking dat stankgehindert is ten gevolge van wegverkeer en industrie (RIVM, milieucompendium 2000, D5.15). Het totale aantal equivalenten stankhinder is berekend op basis van het gemiddelde van het processchema "Environmental pollution in (Western, red.) Europe 1995", IVAM LCA data 3.01 en van de karakterisatiegegevens van CML2 voor West-Europa 1995.

De verborgen milieukosten voor stankhinder zijn gebaseerd op de schaduwprijs voor stankgehinderde huishoudens en bedraagt • 0,00000023 per kubieke meter lucht die is verontreinigd tot aan de geurdrempel (m<sup>3</sup> OTV).

#### **4.2 geluid**

Bij de beoordeling van geluidhinder is onderscheid gemaakt in geluidhinder ten gevolge van wegverkeer en geluidhinder ten gevolge van productieprocessen.

Voor de berekening van de milieukosten is gebruik gemaakt van het totale aantal huishoudens in Nederland (CBS, statline 2001, kerncijfers bevolking 1995) en de schaduwprijs voor geluidgehinderde huishoudens van fl. 200,- per huishouden (Van Soest et al., 1997). De Nederlandse gegevens zijn geëxtrapoleerd naar West-Europa op basis van inwoneraantallen. Er is rekening gehouden met het percentage van de bevolking dat geluidgehinderd is ten gevolge van wegverkeer en industrie (RIVM, milieucompendium 2000, D5.5).

De geluidhinder ten gevolge van wegverkeer wordt uitgedrukt in DALY-equivalenten. Het totale aantal equivalenten is berekend op basis van het totale aantal transport kilometers in Nederland in 1996, waarbij rekening is gehouden met verschillen tussen dag- en nachthinder en hinder door autos/busjes en vrachtwagens/bussen (Müller-Wenk, 1999).

De geluidhinder ten gevolge van productieprocessen wordt uitgedrukt in milieubelastingspunten. Het totale aantal equivalenten geluidhinder is berekend op basis van de TWIN scores voor geluidhinder in de grondstoffase. De uitputting van de belangrijkste bulkgrondstoffen is daaraan toegevoegd. Voor de productiefase is een geraamde bijdrage van 20% meegenomen.

Voor de berekening van de hoeveelheden equivalenten is gebruik gemaakt van het processchema "Environmental pollution in (Western, red.) Europe 1995", IVAM LCA data 3.01.

De verborgen milieukosten voor beide geluidhinder beoordelingen zijn gebaseerd op de schaduwprijs voor geluidgehinderde huishoudens. Voor geluidhinder ten gevolge van wegverkeer resulteert dit in • 321,95 per DALY. De geluidhinder ten gevolge van productieprocessen bedraagt • 0,00000015 per milieubelastingspunt.

#### **4.3 licht en kans op calamiteiten**

De verborgen milieukosten zijn gebaseerd op GreenCalc v1.0. Hierin werden preventie- of schadekosten als maat meegenomen. Er waren bij het opstellen van de milieukosten indertijd alleen milieukostengegevens beschikbaar voor broeikas-effect, verzuring, vermist, afval en energie. De verborgen milieukosten per milieubelastingspunt voor hinder ten gevolge van licht en kans op calamiteiten zijn toen afgeleid op basis van evenredigheid van de gewogen milieubelasting in het TWIN-model (zie F1.3). De verborgen milieukosten bedragen • 0,024 per milieubelastingspunt.

**BIJLAGEN: berekening milieukosten van gas- en elektriciteitsverbruik**

In deze bijlage zijn de verborgen milieukosten voor energie opgenomen. In GreenCalc v2.0 worden deze nog gehanteerd. In de TWIN<sup>2002</sup>-methode wordt energie niet meer als een afzonderlijk item gehanteerd, maar bestaan de verborgen milieukosten voor energie uit de afzonderlijke emissies, uitputting en hinder.

**Beoordelingsgebied**

In het instrument GreenCalc worden de MK op een goed gedefinieerde methode berekend uit z'n componenten van de set milieukosten. De milieubelasting van een bouwelement is een gewogen som van de milieubelasting van broeikasemissies plus van equivalenten verzuring etc. De MK van een bouwelementen zijn opgebouwd uit de MK van CO<sub>2</sub> equivalenten + MK van equivalenten verzuring etc.

Energie kent een zelfde opbouw en de MK worden op dezelfde manier berekend, hetgeen het volgende inhoudt:

- a) aan de belangrijkste milieubelastingcomponenten van energie ( CO<sub>2</sub> equivalenten, verzuring ..., uitputting e.a.) worden milieukosten toegekend
- b) per milieucomponenten worden de milieukosten op dezelfde wijze en gebaseerd op dezelfde grondslagen berekend als bij de milieukosten voor bouwelementen
- c) de MK van de componenten worden op dezelfde manier gesommeerd als bij bouwelementen (dat houdt in, dat ook de tijdsfactor op dezelfde manier wordt verdisconteerd)
- d) De MK worden berekend bij de beste huidig toegepaste stand van de techniek. Dit betekent, dat de huidige daadwerkelijke MK hoger zijn, omdat de beste stand van de techniek niet overal toegepast wordt.

**MK voor aardgas en elektriciteit**

De GreenCalc methode levert de volgende MK op voor verwarming -uitgedrukt per m<sup>3</sup> a.e. (aardgasequivalenten) - en voor elektraverbruik – uitgedrukt in kWh

- MK verwarming:           • 0,395 per m<sup>3</sup> aardgas
- MK elektriciteit :       • 0,095 per kWh

De MK van energie worden voor het overgrote deel bepaald dor de MK van de CO<sub>2</sub> eq. (vgl. MK-tot van 1 a.e. • 0,395, MK CO<sub>2</sub> van 1 a.e. • 0,29. Dat wil zeggen, dat de hoogte van de MK van energie sterk afhankelijk is van de hoogte van de MK van de CO<sub>2</sub> component.

Literatuurverwijzing en aanbevolen literatuur

- [Bee98] Beetstra, F.F.; *Het ECOLEMMMA Model, Ecologische Eenheden Milieu-Monetair gewogen voor Aantasting in de bouw*, Bouwsteen 50, Technische Universiteit Eindhoven, 1998
- [Bis78] Bishop, R.; *Endangered Species and Uncertainty: the economic of a safe minimum standard*, American Journal of Agricultural Economics, 02/1978
- [Boe95] Boer, B. de and R.P. Bosch; *The greenhouse effect: an example of the prevention cost approach*, paper prepared for the 2nd meeting of the London group on national accounts and the environment, Washington, march, 15-17, 1995
- [Boe98] Boer, B. de, R. Hueting and M. de Haan; *Green accounting and sustainable income calculation in the Netherlands*, uit 'From research to implementation: policy-driven methods for evaluating macro-economic environmental performance', EURTD in Human Dimensions of Environmental Change, Report Series 1999/1, ISBN 92-828-5864-2, 1998
- [Bou97] Bouma, J.; *2<sup>e</sup> interim notitie over het Rgd.-rekenmodel behorend bij het protocol voor de monetaire waardering van milieubelasting*, Erasmus Universiteit Rotterdam, juni 1997
- [Bro98] Brown, L.R., C. Flavin and H. French; *State of the World 1998*, W.W. Norton, New York, 1998
- [Con97] Costanza R., e.a.; *The Value of the world's ecosystemen services and natural capital*, Center for Environmental and Estuarine Studies, Zoology Department, and Institute for Ecological Economics, University of Maryland, Maryland, USA, 1997
- [EUC92] European Commission; *Fifth Environmental Action Plan: Towards Sustainability*, European Union, Brussel, 1992
- [Ext95] ExternE voor Duitsland, in opdracht van de Europese gemeenschap (1995)
- [Goe00] Goedkoop, M. & Spriensma, R.; *The Eco-indicator 99 - A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment (Methodology report)*. 2nd edition, Pré Consultants bv, Amersfoort, 17 april 2000
- [Gro92] Groot, R.S. de; *Functions of nature, Evaluation of nature in environmental planning, management and decision making*, Wolters Noordhoff, 1992
- [Gui01] Guinée et al.; *Life cycle assessment; An operational guide tot the ISO standards. Final report*, CML, Leiden, May 2001
- [Haa97] Haas, M.; *TWIN-model, Milieu Classificatie Model Bouw*, NIBE Publishing, Naarden, ISBN 90-74510-04-3, 1997
- [Hae97] Haes U. de; *Guidelines for the application of Life Cycle Assessment in the EU Eco-label Award Scheme*, Office for Official Publications of the European Communities, ISBN 92-827-8684-6, 1997
- [Heij92] Heijungs R.; *Environmental LCA of products, I Guide and II Background*, CML, Leiden, NOH, 1992
- [Hue74] Hueting R.; *New Scarcity and Economic Growth*, Dutch Edition: Agon Elsevier, Amsterdam, Brussel, 1974
- [Hue92] Hueting R., P.R. Bosch and B. de Boer; *Methodology for the calculation of sustainable national income*, Statistics Netherlands, Voorburg, SDU/Publishers, Den Haag, Statistical Essays, 1992  
Also published as WWF International report, Gland, Switzerland, June 1992.

- [Hue99] Hueting R. and B. de Boer; *Environmental Valuation and Sustainable National Income according to Hueting*, Statistics Netherlands (CBS), Den Haag, 9-1999
- [Inf94] Infras/Prognos in opdracht van de Schweizer Bundesämter (1994)
- [IVM97] Dellink, R., and F. van der Woerd; *Kosteneffectiviteit van milieuthema's*, Instituut voor Milieuvraagstukken, Vrije Universiteit Amsterdam, 1997
- [IVM00] *Final report on calculation of a sustainable national income according to Hueting's methodology*, Instituut voor Milieuvraagstukken, Vrije Universiteit Amsterdam, 2000
- [IOP91] Innovatiegericht Onderzoeksprogramma Bouw; *Levensduurcatalogus van bouwdelen en bouwmaterialen; Empirische gegevens; Rapport IV*; Rotterdam/Brussel, Damen, Gorter en Van Rooy b.v./WTCB/Technische Universiteit Eindhoven, Faculteit Bouwkunde, 1991
- [Mül99] Müller-Wenk, R.; *Life cycle impact assessment of road transport noise*, IWÖ discussion paper no. 77, december 1999
- [SBR98] Stichting Bouw Research; *Levensduur van bouwproducten, praktijkwaarden*; Rotterdam, Stichting Bouwresearch, 1998
- [Soe97] Soest, J.P. van, Sas, H., De Wit, G.; *Appels, peren en milieumaatregelen; Afweging van milieumaatregelen op basis van kosteneffectiviteit*, CE, Delft, oktober 1997
- [UNE97] UNEP; *For life on earth*, a publication of United Nations'Environmental Program, New York, 1997
- [Vog01] Joost G. Vogtländer, *The model of the Eco-cost / Value Ratio. A new LCA based decision support tool*, Thesis Delft University of Technology, Delft, The Netherlands, 2001, Design for Sustainability program publication no. 4, ISBN 90-5155-012-X
- [VRO94] VROM; *Methodiek Milieukosten*, Publicatiereeks Milieubeheer 1994/1
- [VRO98] VROM; *Kosten en baten in het milieubeleid, definities en berekeningsmethoden*, Publicatiereeks Milieustrategie 1998/6
- [Wet96] Wetten, J.V., M. Boland en B. Romijn; *Nederland en de mondiale uitputting van biodiversiteit*, hoofd- en achtergrond rapport, AIDEnvironment, Amsterdam, 1996.