

MILIEUGERICHTE LEVENSCYCLUSANALYSES IN ENERGIE-GERELATEERDE ONDERZOEKSPLANNING

Hoofdrapport van vier case-studies
toegespitst op energieconversiesystemen

I.C. KOK

Verantwoording

Deze studie is uitgevoerd in het kader van het ENGINE-programma Integraal Ketenbeheer. Dit programma staat bij ECN geregistreerd onder nummer 7138.

Abstract

This report presents an overview of a number of environmental Life Cycle Analyses (LCA's) on energy conversion systems. The aim of this investigation was (i) to make operational the pursuit of sustainability at ECN and (ii) to determine the practicability of chain analysis. Subjects like the most important limitations of the LCA methodology, the shortcomings of the life cycle assessments, the comparability of energy conversion systems and the practicability of chain analysis are pinpointed.

The case studies pertain to life cycle assessments of several energy technologies like ER-MCFC (External Reforming Molten Carbonate Fuel Cell), wind turbines, STAG (STeam And Gas turbine), ICGCC (Integrated Coal Gasification Combined Cycle). Especially, attention has been paid to the evaluation of improvement options like process improvement (ER-MCFC), upscaling (wind turbines) and carbon dioxide removal (STAG/ICGCC). The LCA methodology which has been developed and described by the Centre of Environmental Science at the University of Leiden (CML), is used in all these cases. The software package SimaPro 2.1 is used for tooling and interpretation of the environmental profile.

In general, the most useful application of LCA can be seen as an auxiliary tool for environmental-friendly design or redesign. In addition, the LCA methodology can only be a valuable tool, if consensus is attained with respect to the database and the normalization of effectscores for classification as well as evaluation. At the moment, using the LCA methodology has afforded mainly an impression of the relative contribution to the total environmental pollution of a product by stage of life.

Further development of the current LCA methodology by combination with risk analysis and/or LP (Linear Programming) optimisation models can solve the principal restrictions of LCA. For example, a risk analysis provides insight into incidental emissions and a LP optimisation model provides a dynamic picture of the reference situation as well as the interactions with other technologies.

INHOUD

SAMENVATTING	5
1. INLEIDING	7
2. BESCHRIJVING CASE-STUDIES	9
2.1 Algemeen	9
2.2 Brandstofcel ER-MCFC	9
2.3 Windturbines	11
2.4 STEG en KV-STEG	13
3. METHODIEK	17
3.1 Algemeen	17
3.2 Beschrijving 'CML-procedure'	18
3.3 Classificatiemethode	19
3.4 Aanknopingspunten voor verder onderzoek	22
3.4.1 Algemeen	22
3.4.2 LP-optimalisatie model MARKAL	22
3.4.3 Toename geldigheid LCA	23
3.4.4 Combinatie van LCA met MARKAL	24
4. RESULTATEN CASE-STUDIES	25
4.1 Algemeen	25
4.2 Brandstofcel ER-MCFC	25
4.3 Windturbines	26
4.4 STEG en KV-STEG	27
4.5 Tekortkomingen	30
5. EVALUATIE VAN LCA-STUDIES	33
5.1 Vergelijkbaarheid	33
5.2 Toepasbaarheid	33
6. CONCLUSIES	35
REFERENTIES	37
BIJLAGE A. Weegfactoren	39

SAMENVATTING

Het ENGINE (ENergy Generation In the Natural Environment) ontwikkelingsprogramma is een initiatief van het Energieonderzoek Centrum Nederland binnen het streven naar duurzaam gebruik van energie en materialen. In het kader van ENGINE is een aantal milieugerichte levenscyclusanalyses (LCA's) van energieconversiesystemen uitgevoerd. Aan de hand van de uitgevoerde case-studies wordt in dit rapport ingegaan op de toepasbaarheid van ketenanalyse in energie-gerelateerde onderzoeksplanning.

De case-studies hebben betrekking op een gesmolten carbonaat brandstofcel met externe reforming (ER-MCFC), twee referentie-windturbines, een stoom- en gasturbine (STEG) en een kolenvergassing stoom- en gasturbine (KV-STEG). Hierbij is speciaal aandacht geschonken aan de evaluatie van verbeteringsopties, zoals procesverbetering (ER-MCFC), opschaling (windturbines) en CO₂-verwijdering (STEG/KV-STEG). In deze cases is gebruik gemaakt van de LCA-methodiek die ontwikkeld en beschreven is door het Centrum voor Milieukunde van de Rijksuniversiteit Leiden. De bewerking en interpretatie van het milieuprofiel heeft plaatsgevonden met versie 2.1 van het software-pakket SimaPro (Systeem voor Integrale MilieuAnalyse van PROdukten).

In het algemeen blijkt dat de waarde van LCA vooral ligt in het gebruik als hulpinstrument voor milieuvriendelijk- en herontwerpen. Daarnaast is de LCA-methodiek alleen een waardevol instrument, indien consensus wordt bereikt over het databestand en de normatieve fase. Momenteel wordt met deze methodiek voornamelijk een indruk verkregen van de relatieve bijdrage per levensfase aan de totale milieubelasting van een produkt.

Onderzoek naar de verdere ontwikkeling van de huidige LCA-methodiek door combinatie met risico-analyse en/of LP (Lineaire Programmering)-optimalisatie modellen kan er toe leiden dat de voornaamste beperkingen worden ondervangen. Zo kan een risico-analyse inzicht in incidentele emissies geven en kan een LP-optimalisatie model in een dynamisch beeld van zowel de referentiesituatie als de interacties met andere technieken voorzien. Dit zal dan leiden tot een meerwaarde in vergelijking met de traditionele levenscyclusanalyse. Hierbij zullen uiteraard ook databestand en normatieve fase verder uitgewerkt moeten worden.

1. INLEIDING

De huidige energieconsumptie gaat gepaard met een tweetal problemen, namelijk: a) uitputting van grondstoffen en niet-vernieuwbare energiedragers en b) gevolgen van het energiegebruik voor het milieu en volksgezondheid (bijvoorbeeld klimaatverandering en verzuring). De toekomstige energievoorziening zal in toenemende mate aan eisen met betrekking tot duurzaamheid, milieu-effecten, veiligheid en kosten voor de samenleving moeten voldoen. In het licht hiervan heeft het Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN) een programma gestart met de naam ENGINE: ENergy Generation In the Natural Environment [1,2]. Met ENGINE wordt beoogd bouwstenen te leveren voor het ontwerp van een toekomstig energiesysteem voor een duurzame samenleving.

Voor operationalisering van dit duurzaamheidsstreven heeft het ECN reeds in 1992 in het kader van het ENGINE-programma een interne programmeringsstudie op het gebied van Integraal Ketenbeheer uitgevoerd [3]. In vervolg op deze studie is besloten om aan de hand van een aantal verkennende case-studies de toepasbaarheid van ketenanalyse in energie-gerelateerde onderzoeksplanning te onderzoeken. Met behulp van een milieugerichte levenscyclusanalyse (LCA) zijn de milieurelevante factoren van een aantal energieconversiesystemen in kaart te brengen en opties ter verbetering van de milieuprofielen te analyseren. Hierbij ligt de nadruk met name op produktinformatie en produktinnovatie. De casestudies hebben betrekking op een gesmolten carbonaat brandstofcel met externe reforming (ER-MCFC) [4], twee referentie-windturbines [5], een stoom- en gasturbine (STEG) [6] en een kolenvergassing stoom- en gasturbine (KV-STEG) [6].

De diverse case-studies met bijbehorende doeleinden worden in hoofdstuk 2 beschreven. In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de gevolgde methodiek en aangegeven hoe de voornaamste beperkingen van de LCA-methodiek te ondervangen zijn. De resultaten van de case-studies en de tekortkomingen hiervan worden in hoofdstuk 4 gepresenteerd. In hoofdstuk 5 worden de vergelijkbaarheid en toepasbaarheid van LCA-studies geëvalueerd. Ten slotte worden in hoofdstuk 6 conclusies met betrekking tot de toepasbaarheid van ketenanalyse in energie-gerelateerde onderzoeksplanning gepresenteerd.

2. BESCHRIJVING CASE-STUDIES

2.1 Algemeen

Algemeen dient opgemerkt te worden dat de bij ECN uitgevoerde case-studies verkennend van aard zijn. Daarom is in deze LCA-studies uitgegaan van 'stroomlijning'. Dit houdt in dat niet alle factoren even nauwkeurig zijn beschouwd. Zo zijn bijvoorbeeld alleen continue emissies beschouwd en geen incidenten en calamiteiten. Gedetailleerde economische beschouwingen zijn achterwege gelaten, maar de verbeteranalyses zijn uiteraard zo zorgvuldig en realistisch mogelijk gekozen.

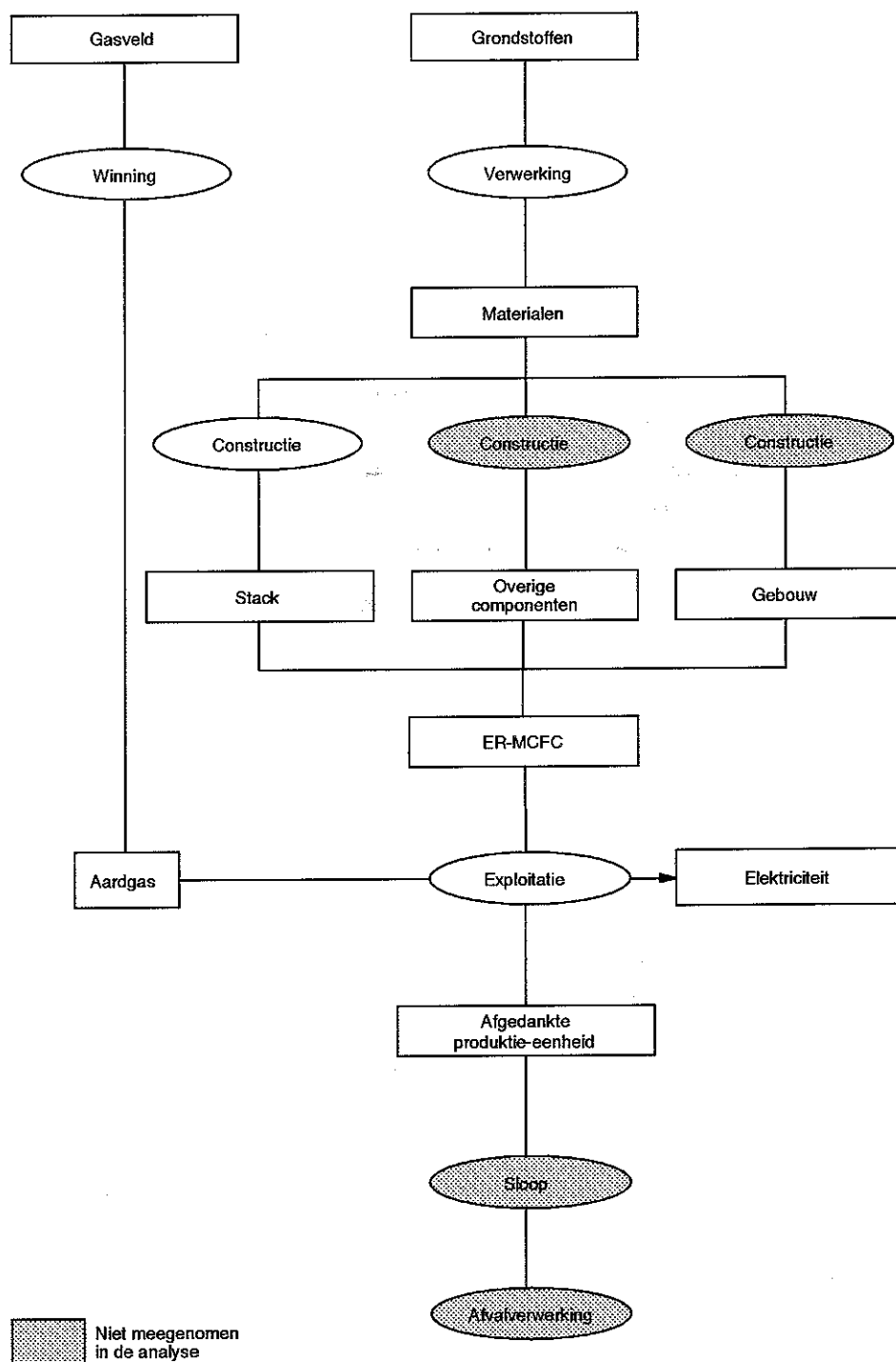
De case-studies hebben betrekking op een gesmolten carbonaat brandstofcel met externe reforming (ER-MCFC) [4], twee referentie-windturbines [5], een stoom- en gasturbine (STEG) [6] en een kolenvergassing stoom- en gasturbine (KV-STEG) [6]. Voor deze uiteenlopende energieconversiesystemen is gekozen om de toepasbaarheid van ketenanalyse in een zo breed mogelijk kader te onderzoeken. Zo verkeert het brandstofcelsysteem nog in de ontwerpfase: de techniek zelf en de produktietechnieken moeten nog worden opgeschaald. De case-studie windturbines betreft een bestaande, maar nog niet uitontwikkelde, techniek. Ten slotte heeft het onderzoek naar het STEG-systeem betrekking op een reeds bestaande techniek. Naast het te maken onderscheid tussen de energiesystemen zelf, is ook de inzetbaarheid van de genoemde technieken in de energievoorziening zeer verschillend (decentraal versus centraal vermogen).

Met behulp van een milieugerichte levenscyclusanalyse zijn de milieurelevante factoren van deze energieconversiesystemen in kaart gebracht en opties ter verbetering van de milieuprofielen geanalyseerd. De milieueffecten worden gepresenteerd per gekozen functionele eenheid. Hierbij is speciaal aandacht geschonken aan de evaluatie van verbeteringsopties, zoals procesverbetering (MCFC), opschaling (windturbines) en CO₂-verwijdering (STEG/KV-STEG). In deze studies zijn de grondstof-, energie- en milieuaspecten van de levenscyclus van zowel energiedragers als conversie-installaties in de beschouwing betrokken. Afvalverwerking is buiten beschouwing gelaten, omdat ten tijde van de uitvoering van de studies nog geen goede methoden en hulpmiddelen beschikbaar waren om de milieueffecten hiervan (bijvoorbeeld uitloging van vaste afvalstoffen) te kwantificeren.

2.2 Brandstofcel ER-MCFC

Het doel van deze studie is milieuaspecten van (i) een ER-MCFC eenheid voor elektriciteitswekking en (ii) een verbeterde eenheid door zowel levensduurverlenging van het stack-systeem als rendementsverhoging, te onderzoeken. De studie is gebaseerd op de 'stand-der-techniek' van de onderzoeksresultaten bij de ECN-unit Fossiele Brandstoffen. Derhalve zullen

reeds de uitgangspunten een zekere mate van onzekerheid bevatten, omdat voor deze techniek nog geen grootschalige productieprocessen bestaan.



Figuur 2.1 Schema van de ketenanalyse voor de ER-MCFC

In deze analyse is uitgegaan van een 250 kW ER-MCFC voor elektriciteitsopwekking, welke uit de volgende subsystemen bestaat: gebouw, stack-systeem en overige componenten. Het stack-systeem heeft twee serie geschakelde stacks die elk bestaan uit 125 geschakelde 1 m² cellen.

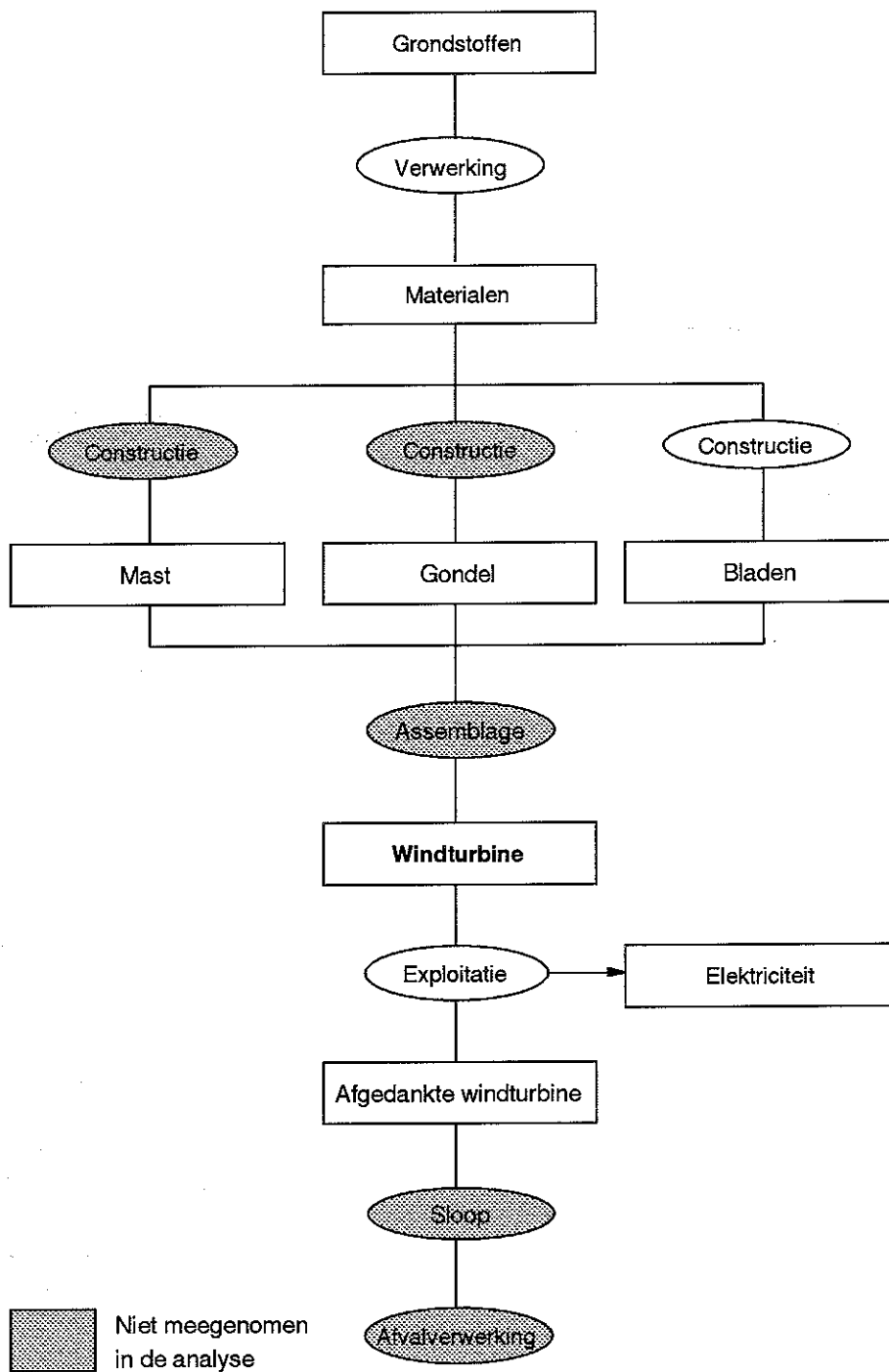
Voor de produktie van elektriciteit (1,9 GWh/jaar) wordt aardgas, lucht en water aan de ER-MCFC toegevoerd. Tijdens de produktie komen kooldioxide, zuurstof, stikstof en water vrij. Er is uitgegaan van de Nederlandse situatie en een levensduur van 10 jaar. Tijdens de levensduur worden 24 stacks opgestart, bedreven (7.000 draaiuren) en ontmanteld. De functionele eenheid is 1 GWh. Het processchema van dit energieconversiesysteem wordt weergegeven in figuur 2.1. De donkere ovalen in deze figuur geven aan dat hetzij de processen van minder groot belang geacht worden (bouw/sloop van gebouw) hetzij gedetailleerde data ontbreken (bouw van overige componenten) hetzij data zich buiten de systeemgrens bevinden (afvalverwerking).

2.3 Windturbines

Het doel van deze studie is milieuaspecten van (i) opschaling van zowel onshore als offshore windturbines en (ii) offshore versus onshore plaatsing van windturbines te onderzoeken. Daarnaast is ook een aantal afvalverwerkingsmogelijkheden vermeld om tot een verantwoorde afvalverwerking van afgedankte rotorbladen, waarin veelal glasvezelversterkte kunststoffen worden toegepast, te komen. De hoeveelheid aan afgedankte rotorbladen is echter geen maatschappelijk groot probleem, maar wel een interessant aandachtspunt.

In deze studie zijn twee referentie-turbines beschouwd die over een generator met een vermogen van respectievelijk 300 kW en 500 kW beschikken. De subsystemen van de windturbines zijn de fundering, toren, gondel en bladen. De 300 kW en 500 kW turbines tellen respectievelijk drie en twee bladen. Er is uitgegaan van de Nederlandse situatie en een levensduur van 20 jaar. Aangenomen wordt dat de jaarlijkse elektriciteitsproduktie¹ voor de 300 kW en 500 kW onshore turbines respectievelijk 325 MWh en 850 MWh is. De functionele eenheid is 1 GWh. Een processchema wordt weergegeven in figuur 2.2. De door donkere ovalen weergegeven processen zijn niet meegenomen in de analyse.

¹ In een gunstig windklimaat kunnen deze waarden hoger uitvallen. Naast het windklimaat is de elektriciteitsproduktie ook afhankelijk van het ontwerp. Momenteel kunnen geavanceerde turbines 2000 vollasturen per jaar beschikbaar zijn.



Figuur 2.2 Schema van de ketenanalyse voor windturbines

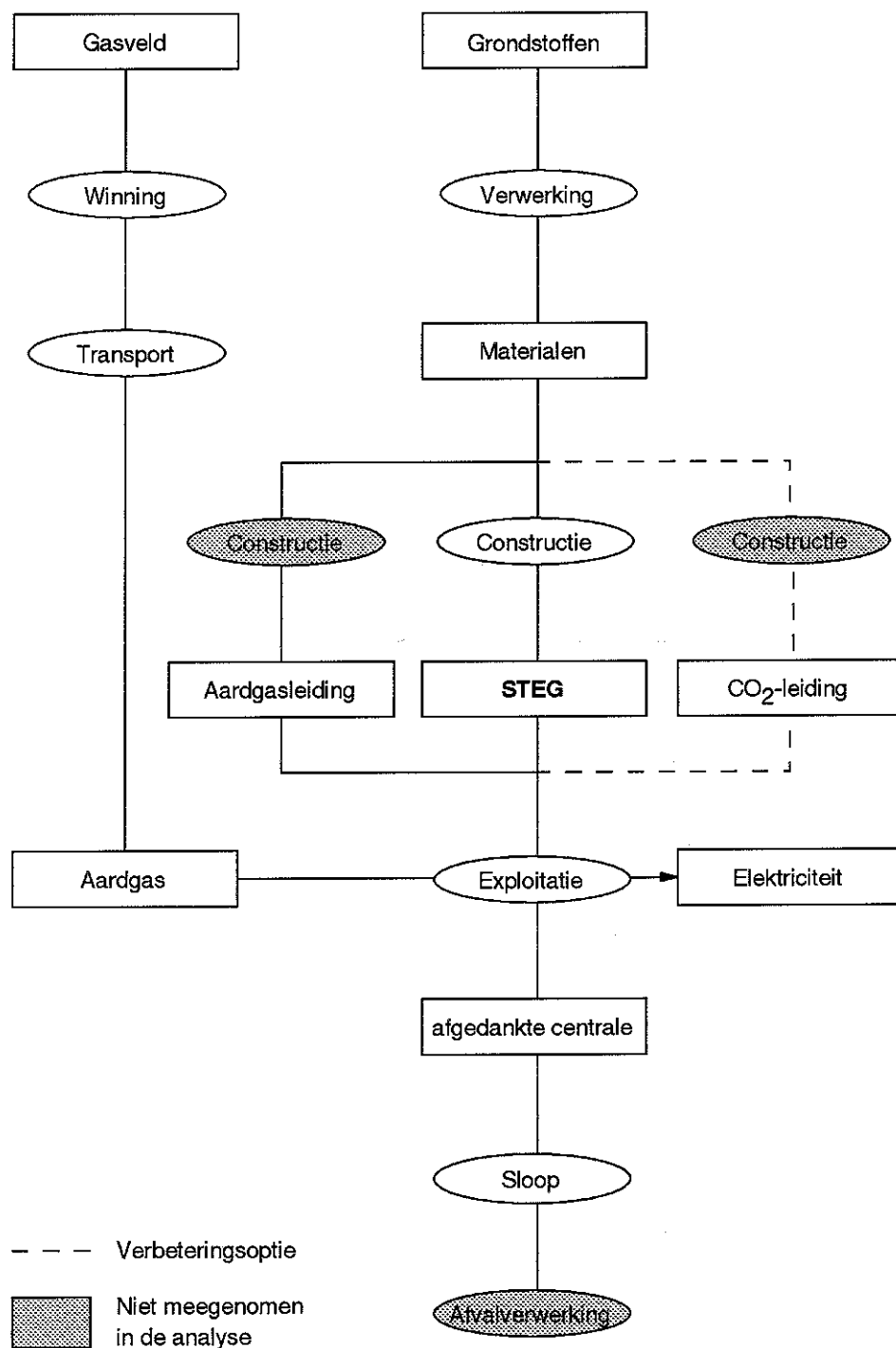
2.4 STEG en KV-STEG

Het doel van deze studie is om milieuaspecten van (i) zowel een STEG als een KV-STEG en (ii) de verbeteringsoptie CO₂-verwijdering en -opslag te onderzoeken. CO₂-verwijdering en -opslag is geselecteerd als verbeteringsoptie, omdat CO₂-emissies van kolen- en aardgasgestookte centrales vormen namelijk wereldwijd een belangrijke bron van de stijgende CO₂-concentratie in de atmosfeer en van het versterkende broeikaseffect.

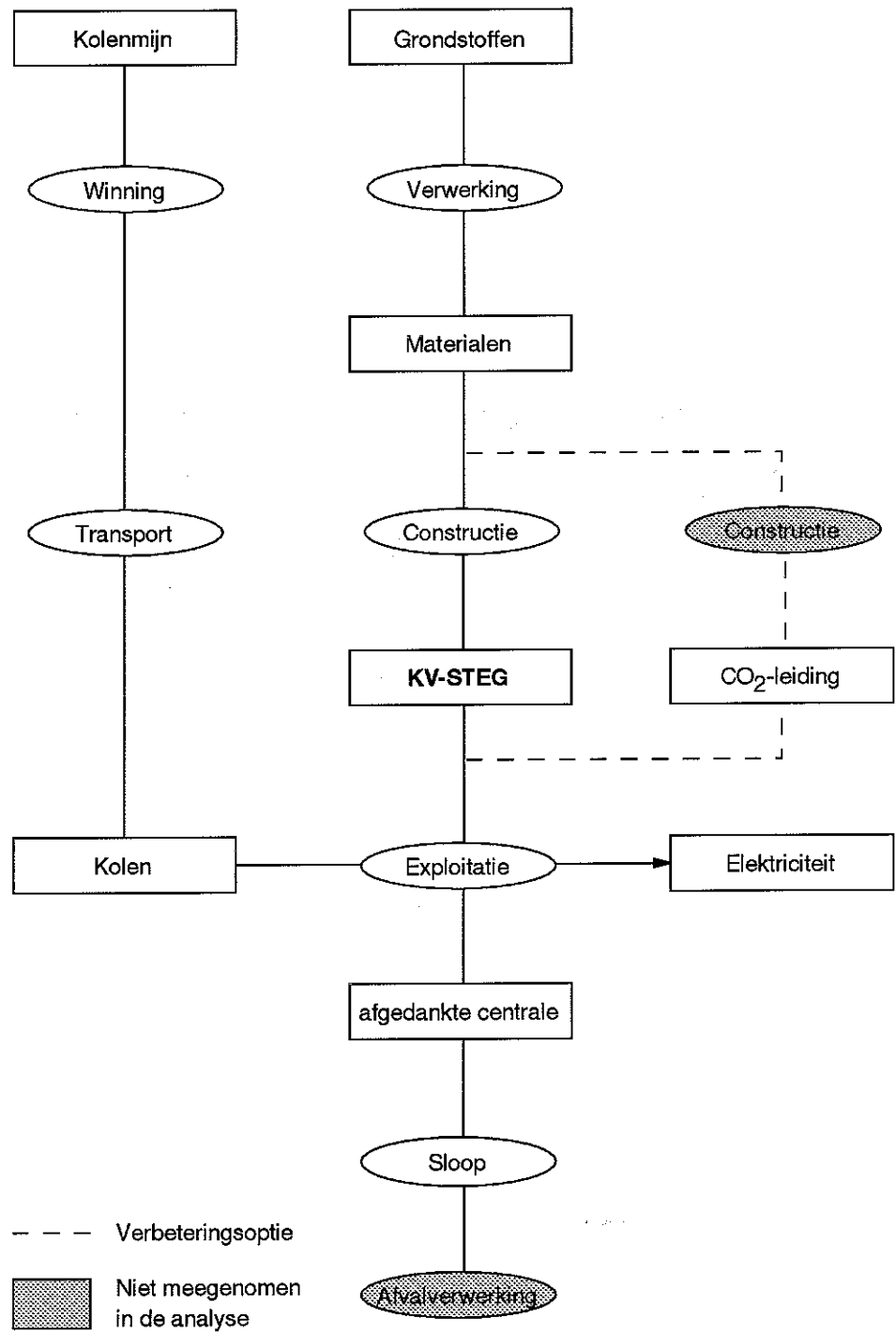
In deze studie gaat het om twee typen elektriciteitscentrales zonder benutting van restwarmte voor industriële stroomlevering of stadsverwarming. Het ene type is een aardgasgestookte 600 MW Stoom- En Gasturbine (STEG), die is opgebouwd uit een gasturbine, een afgassenketel en een stoomturbine met generator(en). Het aardgas wordt betrokken van het Troll-veld, gelegen op het Noorse Continentaal Plat. Als alternatief wordt ook aardgas uit het schiereiland Yamal beschouwd: één van de belangrijkste toekomstige winningsgebieden in West-Siberië. Het andere type is een 600 MW KolenVergassing Stoom- En gasturbine (KV-STEG). Bij een KV-STEG worden kolen onder druk vergast. Het ruwe kolengas wisselt warmte uit in een syngaskoeler, waarbij stoom wordt opgewekt. Na reiniging van o.a. H₂S wordt het schone gas verbrand in de verbrandingskamers van één of meer gasturbines. Stoom van vergasser, syngas-koeler en afgassenketel(s) wordt naar de stoomturbine gevoerd. De kolen zijn afkomstig uit Australië. Als lokatie is de Eemshaven in Nederland geselecteerd, aangezien een gasgestookte eenheid sinds 1977 in bedrijf is en 5 STEG's van elk 346 MWe in aanbouw zijn. De milieu-effecten van bouw en bedrijf zijn bekend [7,8]. Daardoor was het mogelijk om de milieu-effecten van additionele STEG of KV-STEG eenheden goed af te wegen.

Als referentiejaar is 2005 gekozen, want naar verwachting zou dan de verbeteringsoptie CO₂-verwijdering en -opslag technisch haalbaar zijn. Voor verwijdering van CO₂ uit het rookgas bij de STEG (3-4 vol% CO₂) wordt gebruik gemaakt van een chemische absorptietechniek. Voor CO₂-verwijdering uit 'geshift' stookgas bij de KV-STEG (ca. 40 vol% CO₂) wordt een fysische absorptietechniek gekozen. De CO₂-opslag vindt plaats in uitgeputte aardgasvelden.

De periode van analyse en de jaarlijkse elektriciteitsproductie is respectievelijk 25 jaar (economische levensduur van een STEG) en 3,6 TWh. De functionele eenheid is 1 TWh. Het processchema van de STEG en KV-STEG wordt weergegeven in respectievelijk figuur 2.3 en 2.4. De door donkere ovaal weergegeven processen zijn niet meegenomen in de analyse.



Figuur 2.3 Schema van de ketenanalyse voor STEG



Figuur 2.4 Schema van de ketenanalyse voor KV-STEAG

3. METHODIEK

3.1 Algemeen

De levenscyclus van een energieconversiesysteem bestaat uit de gehele keten van 'grondstof tot afvalstof'. Daarnaast spelen energiedragers een belangrijke rol bij de exploitatie van een energietechniek. De fasen van een dergelijke levenscyclus, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen energie-installaties en energiedragers, worden weergegeven in tabel 3.1. Door het milieuprofiel voor elke fase op te stellen, wordt een inzicht verkregen waar de energietechniek in de hele productie-exploitatie-afvalverwerkingsketen milieuproblemen veroorzaakt. Op grond van dit verkregen inzicht zouden dan vervolgens opties ter verbetering van het milieuprofiel gedefinieerd en geanalyseerd kunnen worden.

Tabel 3.1 *Fasen van levenscyclus voor energie-installaties en energiedragers*

Energie-installaties	Energiedragers
Extractie en productie grondstoffen	Extractie en reiniging
Transport van grondstoffen	Transport
Productie van materialen	Omzetting
Transport van materialen	
Gebruik van materialen	
Afvalverwerking van afgedankte materialen	

De LCA-methodiek die in Nederland wordt toegepast, is ontwikkeld en beschreven door het Centrum voor Milieukunde van de Rijksuniversiteit Leiden (CML) [9,10] en dient als uitgangspunt voor internationale standaardisatie door de SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry), het Europese en Noordamerikaanse platform voor LCA. Ondanks de snelle opmars van LCA-studies, mag niet uit het oog verloren worden dat de LCA-methodiek betrekking heeft op een statisch systeem, dat een gelijkblijvende referentiesituatie en één functionele eenheid van het beschouwde 'produkt' (bijvoorbeeld per kWh) heeft. Dit statische karakter heeft een aantal positieve en negatieve aspecten.

Positieve aspecten

- Huidige situatie voor een bestaande techniek is bekend.
- Eventuele verbeteringsopties kunnen één voor één in de zogenaamde verbeteranalyse verkend worden.

Negatieve aspecten

- Bij simultane verbeteringen neemt het aantal verbeteranalyses bijna kwadratisch toe.
- Onderlinge relaties van verbeteringsopties kunnen niet eenvoudig worden gekwantificeerd (bijvoorbeeld: relatie tussen omvang van de toepassing van een bepaald materiaal en de haalbaarheid van materiaalrecycling).

- Wisselwerkingen met de omgeving kunnen meestal niet gekwantificeerd worden (bijvoorbeeld: invloed van massale penetratie van brandstofcellen op de olie- en gasprijzen).

Paragraaf 2 van dit hoofdstuk geeft een korte beschrijving van de LCA-methodiek die ontwikkeld en beschreven is door het Centrum voor Milieukunde van de Rijksuniversiteit Leiden CML [9,10]. De bewerking en interpretatie van het milieuprofiel vond plaats met het software-pakket SimaPro 2.1, wat staat voor Systeem voor Integrale MilieuAnalyse van PROdukten [11]. De classificatiemethode toegepast in de case-studies wordt in paragraaf 3 toegelicht. Ten slotte wordt in paragraaf 4 aangegeven hoe de voornaamste beperkingen van de LCA-methodiek te ondervangen zijn.

3.2 Beschrijving 'CML-procedure'

In het onderstaande wordt de CML-procedure [9,10] globaal beschreven. Volgens de richtlijnen van deze procedure omvat een milieugerichte LCA-studie een drietal centrale componenten:

- inventarisatie (produktsysteem)
- classificatie (milieusysteem)
- evaluatie (normatief systeem).

In de inventarisatie worden de milieurelevante factoren omtrent het functioneren van processen - zoals rendement, directe en indirecte emissies naar water, lucht en bodem, materiaalgebruik, energiegebruik - gedurende de levensduur van een (energieconversie)systeem geïnventariseerd. Door deze milieurelevante factoren van alle betrokken processen te aggregeren, worden de milieu-ingrepen voor de gehele keten bepaald.

De classificatie geeft een overzicht van het milieuprofiel. Uit de inventarisatiefase kunnen met behulp van een model de zogenaamde classificatiefactoren afgeleid worden. Op deze manier worden milieu-effecten gekwantificeerd (effectscore). Hierbij dient te worden opgemerkt dat de effectscores alleen maar indicatoren zijn voor een *potentieel* milieu-effect en niet de omvang van de werkelijke problemen aangeven. Zo kan bijvoorbeeld een bepaalde uitstoot NO_x bijdragen aan verschillende milieuproblemen zoals verzuring, vermesting, fotochemische oxydantvorming en humane toxiciteit.

Ten slotte levert de evaluatie met behulp van weegfactoren een milieu-index op grond van een totaalbeoordeling van het (energieconversie)systeem op zijn potentiële milieu-effecten. Tevens is het de bedoeling dat in deze fase de betrouwbaarheid en validiteit van de gehele analyse geschat wordt door bijvoorbeeld een gevoeligheidsanalyse.

De inventarisatie, classificatie en evaluatie kunnen afzonderlijk leiden tot een milieugerichte verbeteranalyse. Deze aanpak biedt aangrijpingspunten voor verbetering van het milieuprofiel resulterend in milieuvriendelijk ontwerpen of herontwerpen van (energieconversie)systemen.

3.3 Classificatiemethode

In deze paragraaf wordt per (milieu)thema aangegeven hoe de effectscore in de case-studies is berekend. In de formules staat i voor de sommatie over de bijdragende componenten in de keten. Voor de mathematische achtergronden van de classificatiemethode, met uitzondering van de varianten humane toxiciteit voor lucht en water, wordt verwezen naar [10]. In bijlage A is een overzicht van de weegfactoren opgenomen.

Energiegebruik

Het totale energiegebruik wordt berekend volgens vergelijking 3.1. Het energiegebruik is gebaseerd op de energie-inhoud van de verschillende energiedragers.

$$\text{Energiegebruik (MJ)} = \sum_i \text{energiegebruik}_i \text{ (MJ)} \quad (3.1)$$

Uitputting

In deze studie wordt alleen uitgegaan van abiotische uitputting volgens vergelijking 3.2. Uit oogpunt van presentatie wordt de factor $1 \cdot 10^{12}$ toegepast. De beoordeling vindt plaats door relativering van het netto beslag op iedere grondstof aan de voorraad van die grondstof [12]. In dit milieuthema zijn geen energiedragers opgenomen. De energiedragers zijn namelijk al gegroepeerd in het thema energiegebruik.

$$\text{Abiotische uitputting} = 1 \cdot 10^{12} \sum_i (1/\text{voorraad}_i \text{ (kg)}) \times \text{gebruik}_i \text{ (kg)} \quad (3.2)$$

Broeikasewffect

De effectscore voor broeikasewffect wordt berekend op grond van de Global Warming Potentials (GWP's) met een tijdhorizon van 100 jaar (vergelijking 3.3). GWP's [13] zijn gebaseerd op de mate waarin een massaeneheid stof infrarode straling kan absorberen ten opzichte van een massaeneheid kool-dioxyde (CO_2). GWP's zijn opgesteld voor diverse tijdhorizons, te weten 20, 100 en 500 jaar. Met behulp van de GWP weegfactor kan de luchtzijdige emissie (in kg) van een stof die bijdraagt aan de versterking van het broeikasewffect, omgerekend worden tot een qua broeikasewffect equivalente emissie (in kg) van CO_2 .

$$\text{Broeikasewffect (kg)} = \sum_i \text{GWP}_i \cdot 100 \times \text{emissie}_i \text{ naar lucht (kg)} \quad (3.3)$$

Verzuring

De effectscore voor verzuring wordt berekend op grond van de Acidification Potentials (AP's) volgens vergelijking 3.4. AP's [10] zijn een maat voor het vermogen om een proton (H^+) af te splitsen onder invloed van eventueel zuurstof, water en/of ozon ten opzichte van de verzurende stof zwaveldioxyde (SO_2). Met behulp van de AP weegfactor kan de luchtzijdige emissie (in kg) van een stof die bijdraagt aan de verzuring, omgerekend worden tot een qua verzuring equivalente emissie (in kg) van SO_2 .

$$\text{Verzuring (kg)} = \sum_i \text{AP}_i \times \text{emissie}_i \text{ naar lucht} \quad (3.4)$$

Vast afval

De totale vaste afvalstroom wordt berekend volgens vergelijking 3.5.

$$\text{Vast afval (kg)} = \sum_i \text{vast afval}_i \text{ (kg)} \quad (3.5)$$

Vermesting

De effectscore voor vermisting wordt berekend op grond van de Nutrifcation Potentials (NP's) volgens vergelijking 3.6. NP's [10] zijn een maat voor het vermogen om biomassa te vormen ten opzichte van fosfaat (PO_4^{3-}). Met behulp van de NP weegfactor kan de luchtzijdige emissie (in kg) van een stof die bijdraagt aan de vermisting, omgerekend worden tot een qua vermisting equivalente emissie (in kg) van PO_4^{3-} .

$$\text{Vermesting (kg)} = \sum_i \text{NP}_i \times \text{emissie}_i \text{ (kg)} \quad (3.6)$$

Ozonlaagaantasting

De effectscore voor ozonlaagaantasting wordt berekend op grond van de Ozone Depletion Potentials (ODP's) volgens vergelijking 3.7. ODP's [14] zijn gebaseerd op de mate waarin de afbraak van ozon in evenwichtstoestand plaatsvindt ten gevolge van een jaarlijkse emissie (flux in kg.jr^{-1}) van een hoeveelheid stof naar de atmosfeer ten opzichte van eenzelfde hoeveelheid van CFK-11 (trichloorfluormethaan). Met behulp van de ODP weegfactor kan de luchtzijdige emissie (in kg) van een stof die bijdraagt aan de aantasting van de ozonlaag, omgerekend worden tot een qua ozonlaagaantasting equivalente emissie (in kg) van CFK-11.

$$\text{Ozonlaagaantasting (kg)} = \sum_i \text{ODP}_i \times \text{emissie}_i \text{ naar lucht (kg)} \quad (3.7)$$

Oxidantia

De effectscore voor fotochemische oxydantvorming wordt berekend op grond van de Photochemical Ozone Creation Potentials (POCP's) volgens vergelijking 3.8. POCP's [15] zijn gebaseerd op de mate waarin een massa-eenheid stof oxydant vormt ten opzichte van een massa-eenheid ethyleen (C_2H_4). Met behulp van de POCP weegfactor kan de luchtzijdige emissie (in kg) van een stof die bijdraagt aan de oxydantvorming, omgerekend worden tot een qua oxydantvorming equivalente emissie (in kg) van C_2H_4 . Voor de stikstofoxyden is echter (nog) geen weegfactor binnen het milieuthema oxidantia gedefinieerd, terwijl fotochemische oxydantvorming tot stand komt door reacties tussen stikstofoxyden (NO_x) en vluchtige organische stoffen (VOS). Voor de volledigheid worden in de case-studies de hoeveelheden NO_x en VOS vermeld.

$$\text{Oxydantvorming (kg)} = \sum_i \text{POCP}_i \times \text{emissie}_i \text{ naar lucht (kg)} \quad (3.8)$$

Humane toxiciteit

De effectscore voor humane toxiciteit wordt berekend op grond van de humaan-toxicologische classificatiefactoren voor lucht (HCL), voor water (HCW) en voor bodem (HCB) [9,10] volgens vergelijking 3.9.

$$\begin{aligned} \text{Humane toxiciteit (kg)} = & \\ & \sum_i \text{HCL}_i \text{ (kg.kg}^{-1}\text{)} \times \text{emissie}_i \text{ naar lucht (kg)} + \\ & \text{HCW}_i \text{ (kg.kg}^{-1}\text{)} \times \text{emissie}_i \text{ naar water (kg)} + \\ & \text{HCB}_i \text{ (kg.kg}^{-1}\text{)} \times \text{emissie}_i \text{ naar bodem (kg)} \end{aligned} \quad (3.9)$$

Variant humane toxiciteit (lucht)

De effectscore voor de variant humane toxiciteit (lucht) wordt berekend met behulp van de Maximale Aanvaarde Concentraties [16] van een stof in de lucht op de werkplek, de zogenaamde MAC-waarden (vergelijking 3.10).

$$\begin{aligned} \text{Humane toxiciteit (m}^3\text{)} = & \\ & \sum_i (1/\text{MAC (kg/m}^3\text{)})_i \times \text{emissie}_i \text{ naar lucht} \end{aligned} \quad (3.10)$$

Variant humane toxiciteit (water)

De effectscore voor de variant humane toxiciteit (water) wordt berekend met behulp van de Nederlandse normen voor oppervlaktewater dat bestemd is voor de produktie van drinkwater [17] (hier OvD genoemd) volgens vergelijking 3.11.

$$\begin{aligned} \text{Humane toxiciteit (m}^3\text{)} = & \\ & \sum_i (1/\text{OvD (kg/m}^3\text{)})_i \times \text{emissie}_i \text{ naar water} \end{aligned} \quad (3.11)$$

Variant humane toxiciteit (bodem)

De effectscore voor de variant humane toxiciteit (bodem) is gebaseerd op de humaan-toxicologische classificatiefactoren voor bodem (HCB) (zie humane toxiciteit en vergelijking 3.12).

$$\begin{aligned} \text{Humane toxiciteit(kg)} = & \\ & \sum_i \text{HCB}_i \text{ (kg.kg}^{-1}\text{)} \times \text{emissie}_i \text{ naar bodem (kg)} \end{aligned} \quad (3.12)$$

Ecotoxiciteit (water)

De effectscore voor aquatische ecotoxiciteit wordt berekend op grond van de ecotoxicologische classificatiefactoren voor aquatische ecosystemen (ECA) [9,10] volgens vergelijking 3.13.

$$\begin{aligned} \text{Ecotoxiciteit (m}^3\text{)} = & \\ & \sum_i \text{ECA}_i \text{ (m}^3\text{.mg}^{-1}\text{)} \times \text{emissie}_i \text{ naar water (mg)} \end{aligned} \quad (3.13)$$

Ecotoxiciteit (bodem)

De effectscore voor terrestrische ecotoxiciteit wordt berekend op grond van de ecotoxicologische classificatiefactoren voor terrestrische ecosystemen (ECT) [9,10] volgens vergelijking 3.14. In de case-studies wordt overigens rekening gehouden met afvalstromen die niet in het ecosysteem terechtkomen. Zo wordt ervan uitgegaan dat afgewerkte olie wordt opgewerkt of verbrand en dus niet in het ecosysteem belandt. Om deze reden is er dan ook geen weegfactor voor afgewerkte olie gedefinieerd, terwijl wel een weegfactor voor humane toxiciteit (bodem) is opgenomen.

$$\begin{aligned} \text{Ecotoxiciteit (kg)} = & \\ & \sum_i \text{ECT}_i \text{ (kg.mg}^{-1}\text{)} \times \text{emissie}_i \text{ naar bodem (mg)} \end{aligned} \quad (3.14)$$

3.4 Aanknopingspunten voor verder onderzoek

3.4.1 Algemeen

In deze paragraaf zal uiteengezet worden hoe de voornaamste beperkingen van de LCA-methodiek te ondervangen zijn. De voornaamste restricties zijn:

- geen of onvoldoende inzicht in incidentele emissies;
- beperkte geldigheid door een statische referentiesituatie en één functionele eenheid (denk bijvoorbeeld aan warmte/kracht-koppeling met de keuze tussen warmte en elektriciteit als functionele eenheid);
- geen aanknopingspunten voor integratiekader en interactie met andere technieken.

Eventuele ondersteuningsmogelijkheden om deze drie beperkingen van een LCA gedeeltelijk op te heffen zijn de risico-analyse (RA) [18] en een meer dynamisch beeld van de referentiesituatie en interacties met andere technieken, bijvoorbeeld via gebruikmaking van dynamische LP (Lineaire Programmering)-optimalisatie modellen van de energievoorziening. Eén van die modellen is MARKAL (MARKet ALlocation), waarvan een beschrijving wordt gegeven in paragraaf 3.4.2.

Op de meerwaarde van een keten-risico benadering wordt uitvoerig ingegaan in [18]. De meerwaarde van zo'n keten-risico benadering komt met name tot stand indien risico's voor de mens en ecosystemen van zowel incidentele als continue emissies worden geanalyseerd.

In de volgende paragrafen zal verder kort worden ingegaan op het LP-optimalisatie model MARKAL, op hoe de geldigheid van LCA verbeterd kan worden en op de opties van een combinatie van LCA met optimalisatiemodellen van energiesystemen.

3.4.2 LP-optimalisatie model MARKAL

MARKAL is een software-pakket dat gebruikt kan worden om LP (Lineaire Programmering)-optimalisatiemodellen van gehele energiesystemen te bouwen [19-21]. Het is ontwikkeld in het kader van het internationale IEA-project 'Energy Technology Systems Analysis Programme' (ETSAP) en wordt momenteel in meer dan twintig landen gebruikt.

In het model zijn technisch-economische kencijfers (investeringen, onderhoud, levensduur, energetisch rendement, marktpotentieel) opgenomen van een 400-tal energietechnieken. Het model optimaliseert voor een aantal zichtjaren tot in de verre toekomst naar laagste kosten van de nationale energiehuishouding en berekent de marginale kosten van emissiereductie bij verschillende emissieplafonds. Er zijn verschillende versies van MARKAL, de zogenaamde common en extended MARKAL versies, beschikbaar. In beide versies zijn tevens de milieuthema's verzuring en broeikaseffect meegenomen.

Het model stelt voor een gegeven zichtperiode een optimale mix van energietechnologieën en brandstoffen samen. Dit gebeurt tegen zo laag mogelijke kosten om aan nuttige vraag te voldoen, waarbij rekening wordt gehouden met de externe omstandigheden van brandstofprijzontwikkeling, beschikbaarheid van energietechnieken, milieuplafonds, seizoens- en dag/nacht fluctuaties in de energievraag etc. Deze dynamische optimalisatie komt tot stand met een alwetende vooruitziende blik ('perfect foresight'): het model 'weet' in een eerdere periode (bijvoorbeeld 2010) al wat er in een latere periode (bijvoorbeeld 2030) gaat gebeuren en kan daar dus van te voren reeds rekening meehouden. Wanneer verschillende scenario's met uiteenlopende uitgangspunten worden doorgerekend, kunnen met behulp van het MARKAL model robuuste energietechnologieën geïdentificeerd worden. In Nederland wordt MARKAL gebruikt voor evaluatie van energiestrategieën, onder andere binnen de SYRENE-studie [22] voor de Nederlandse maatschappij voor energie en milieu (Novem) en de Energie en Materiaal Scenario's (EMS) studie [21,23] voor het Nationaal Onderzoekprogramma Mondiale Luchtverontreiniging en Klimaatverandering (NOP-MLK).

3.4.3 Toename geldigheid LCA

Enige verbetering van de geldigheid van de levenscyclusanalyse kan bereikt worden door systeemgrenzen ruim te definiëren, bijvoorbeeld 'de totale Nederlandse elektriciteitsproductie in 1993'. De penetratiegraad van een systeem in de maatschappij op een bepaald moment wordt dan namelijk meegenomen. Op deze manier wordt enig inzicht verkregen in de omvang, de samenstelling en de samenhang van de materialen- en energiehuishouding in de samenleving. Het systeem blijft echter statisch, aangezien nog steeds sprake is van een constante referentiesituatie (momentopname) en één functionele eenheid. Met andere woorden: een statisch systeem kan niet op toekomstige veranderingen in materialen- en energiehuishouding anticiperen. Daarentegen zou bij dynamische methoden wel rekening gehouden kunnen worden met opslag/voorraad vorming, een veranderende referentiesituatie en meer dan één functionele eenheid. Dit is met name goed te illustreren bij materialen met veel verschillende toepassingen en een hoge energiewaarde. Zo kan bijvoorbeeld het gebruik van dynamische LP-optimalisatie modellen van de materialen- en energiehuishouding het inzicht in technologieverkenningen vergroten. Dit, omdat in technologieverkenningen voortdurend op toekomstige veranderingen geanticipeerd wordt en vele facetten tegelijk belicht moeten worden. Er kan dus behoefte bestaan aan een dynamische benadering naast de informatie die statische analyses zoals LCA opleveren. De toegevoegde waarde van een combinatie van het LP-model MARKAL en LCA komt dan met name neer op het reduceren van het statische karakter van LCA.

3.4.4 Combinatie van LCA met MARKAL

In deze paragraaf wordt nader ingegaan op de mogelijkheden van een eventuele combinatie van LCA met MARKAL [24]. In feite zouden LCA- en MARKAL-studies elkaar op twee manieren kunnen ondersteunen, namelijk:

- a. LCA kan additionele informatie leveren voor veelbelovende toekomstige energievoorzieningssystemen.
- b. LP-model MARKAL kan verbeterd worden door resultaten van gedetailleerde LCA-studies te benutten.

Ad a

Uit MARKAL-studies kan afgeleid worden hoe de referentie-energievoorziening zich in de toekomst kan ontwikkelen. Zodoende kan uitbreiding van de LCA-methode voor deze energietechnieken een nuttige aanvulling betekenen. Dit, omdat het MARKAL niet gebruikt kan worden om nauwkeurige voorspellingen te doen inzake het milieuprofiel van de betreffende energietechnieken.

Ad b

Onderdelen van LCA's kunnen in principe in MARKAL worden gebracht. Dit varieert tussen een simpele boekhouding van materialen en emissies die weinig of geen interacties heeft met het energiesysteem tot een complete dynamische LCA die volledig interactief is met het energiesysteem.

In een boekhoudkundige LCA die gebaseerd is op MARKAL, kunnen alle bekende milieurelevante factoren voor alle levensfasen gekoppeld worden aan een techniek (voor zover dat al niet het geval is (bijvoorbeeld CO₂, NO_x)). MARKAL houdt in deze benadering het materiaalgebruik, het energiegebruik en zowel de energie- als materiaal-gerelateerde emissiefactoren bij voor het installeren van technieken. (Meerdere) tabellen met milieuweegfactoren kunnen zonder problemen worden toegevoegd. Geheel nieuw is dat hiermee een integrale evaluatie kan plaatsvinden van de milieu-effecten van verschillende structuren voor de gehele energievoorziening en een inventarisatie van al het materiaalgebruik voor de energievoorziening. Met behulp van plafonds op milieu-effecten of het opleggen van heffingen voor milieu-emissies kunnen dan kostenoptimale strategieën berekend worden voor het terugdringen van deze milieu-effecten.

Een complete dynamische LCA kan met extended MARKAL [21] worden uitgevoerd. In deze versie van MARKAL wordt naast de energiehuishouding tevens de gehele materialenhuishouding in kaart gebracht. Een nadeel van deze meest consistente en interactieve benadering is dat deze erg arbeidsintensief zal zijn.

4. RESULTATEN CASE-STUDIES

4.1 Algemeen

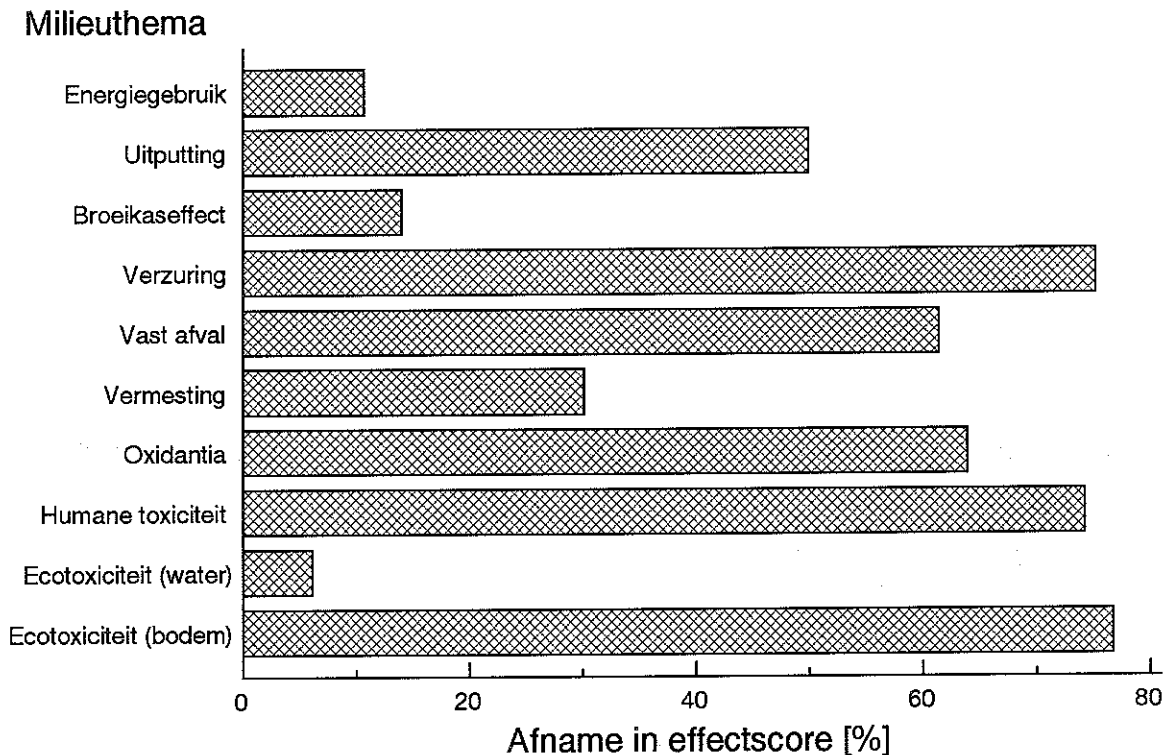
Resumerend wijst het onderzoek uit dat zowel levensduurverlenging als rendementsverhoging van de ER-MCFC en opschaling van windturbines resulteren in een daling van alle milieu-effecten. In de cases STEG en KV-STEG leidt CO₂-verwijdering en -opslag tot een aanzienlijke reductie in het broeikas-effect, terwijl de overige milieu-effecten toenemen. De resultaten geven voorts een indruk van de relatieve bijdrage per levensfase aan de totale milieubelasting, aangezien er nu nog geen objectieve maat bestaat om milieu-effecten te kwantificeren.

In de paragrafen 4.2, 4.3 en 4.4 worden de resultaten van de verbeteranalyses gepresenteerd. De varianten humane toxiciteit als onderdeel van de classificatiemethode (zie paragraaf 3.3) zijn niet meegenomen in onderstaande resultaten. Daarnaast wordt hier niet ingegaan op de normering volgens het protocol van de Vakgroep Natuurwetenschap en Samenleving [25]. Deze aspecten komen overigens wel in de case-studies aan de orde. Verder wordt voor de voornaamste bijdragen aan de totale effectscores van milieuthema's en welk proces of stadium hiervoor hoofdzakelijk verantwoordelijk is, verwezen naar de betreffende case-studie. Ten slotte worden in paragraaf 4.5 de tekortkomingen die uit alle case-studies naar voren komen, behandeld.

4.2 Brandstofcel ER-MCFC

Uit de analyse van de ER-MCFC komt naar voren dat de effectscores van de milieuthema's broeikas-effect en aquatische ecotoxiciteit hoofdzakelijk worden veroorzaakt tijdens de exploitatie. Tevens wordt het energiegebruik in hoge mate bepaald door de exploitatiefase. Het milieu-effect vermisting is grotendeels toe te schrijven aan de exploitatiefase en de productiefase van het stack-systeem. De overige milieu-effecten worden met name bepaald door het stack-systeem.

Uit de verbeteranalyse van de ER-MCFC blijkt dat levensduurverlenging van het stack-systeem en rendementsverhoging leiden tot een daling van alle milieu-effecten. Het verschil in milieuprofiel van een verbeterde ER-MCFC door levensduurverlenging van het stack-systeem tot 42.500 draaiuren ten opzichte van een conventionele ER-MCFC (stack-systeem: 7.000 draaiuren) wordt in figuur 4.1 geïllustreerd. In deze figuur worden de relatieve effectscores opgesplitst naar gebouw, stack-systeem, overige componenten en exploitatie. Daarnaast leidt een 6%-punt rendementsverhoging van de ER-MCFC eenheid naar 50% tot een extra daling van alle milieu-effecten met 12%.



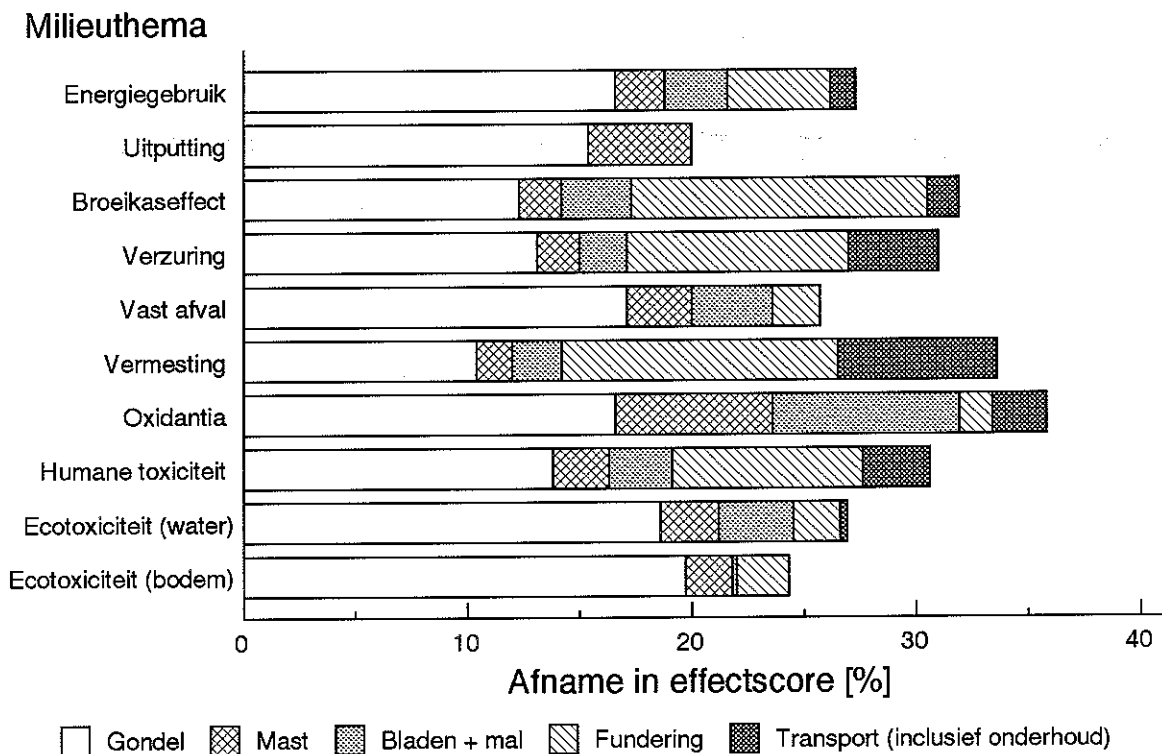
Figuur 4.1 *Verskil in milieuprofiel van een verbeterde ER-MCFC door levensduurverlenging van het stack-systeem (35.500 draaiuren) ten opzichte van een conventionele ER-MCFC*

4.3 Windturbines

In het geval van aan land geplaatste windturbines blijken de effectscores met name bepaald te worden door de gondel en de mast. De effectscores van buitengaats geplaatste turbines kunnen met name toegeschreven worden aan fundering, mast en gondel. Het relatieve belang van de mast en de gondel is wel afgenomen vergeleken met onshore turbines. Uitputting kan echter vrijwel volledig worden toegeschreven aan de kabels.

Opschaling van een 300 kW naar een 500 kW aan land geplaatste dan wel buitengaats geplaatste turbine leidt tot een daling van alle milieu-effecten. Dit resulteert uit het feit dat de toename van materialengebruik lager uitvalt dan de toename in elektriciteitsproductie. Ter illustratie wordt de afname in effectscore per milieuthema voor aan land geplaatste turbines in figuur 4.2 weergegeven. In deze figuur worden de relatieve effectscores opgesplitst naar windturbineonderdelen (bladen, gondel, mast en fundering) en transport. Hieruit blijkt dat de verlaging van de milieubelasting (de 'milieuwinst') in het produktiestadium voornamelijk bepaald wordt door de gondel en fundering. Geringere verschillen in jaarlijkse elektriciteitsproductie tussen de twee typen turbines - afhankelijk van windklimaat en ontwerp - dan in deze studie verondersteld resulteren echter in een kleinere afname in effectscore of zelfs in een lichte toename daarin.

Bij buitengaats plaatsing nemen 'overall' de effectscores per functionele eenheid van elk milieuthema toe ten opzichte van onshore plaatsing. Hierbij spelen met name de fundering en de benodigde hoeveelheid kabels een rol. Ondanks de toename van alle milieu-effecten per functionele eenheid door buitengaats plaatsing staan er een aantal belangrijke voordelen tegenover. Er is namelijk geen sprake meer van geluidsoverlast en aantasting van het landschap zal als gering worden ervaren. Daarnaast is de wind gelijkmatiger en krachtiger waardoor meer elektriciteit kan worden opgewekt.



Figuur 4.2 *Verskil in milieuprofiel van een 500 kW ten opzichte van een 300 kW windturbine*

4.4 STEG en KV-STEG

In deze paragraaf worden de resultaten van STEG aan de hand van gas-transport vanaf Troll gepresenteerd.

In de levenscyclusanalyse van STEG blijken de effectscores van de milieuthema's broeikaseffect, verzuring, vermesting, humane toxiciteit hoofdzakelijk te worden veroorzaakt tijdens de exploitatie. Het energiegebruik wordt in gelijke mate bepaald door exploitatiefase en aardgasketen. Het milieueffect uitputting is vrijwel volledig te wijten aan de bouw en sloop van de STEG-centrale. De overige milieu-effecten zijn grotendeels toe te schrijven aan de aardgasketen en de STEG-centrale (bouw/sloop). Indien het gas-transport vanaf Yamal plaatsvindt, neemt het relatieve belang van de aardgasketen bij alle milieu-effecten toe. De verdere opbouw van de verdeling van de totale effectscore is vergelijkbaar met de situatie waarbij gas-transport vanaf Troll plaatsvindt.

Uit de analyse van de KV-STEg komt naar voren dat de effectscore van het milieuthema broeikas effect hoofdzakelijk veroorzaakt wordt tijdens de exploitatie. Daarnaast hebben de exploitatiefase alsmede de kolenketen een groot aandeel in de totale effectscores van energiegebruik en vermisting. De milieu-effecten uitputting en terrestrische ecotoxiciteit (bodem) zijn volledig toe te schrijven aan de bouw en sloop van de KV-STEg centrale. De overige milieu-effecten worden grotendeels bepaald door de kolenketen.

Het toepassen van CO₂-verwijdering en -opslag als verbeteringsoptie leidt niet alleen tot een aanzienlijke daling van de bijdrage aan het broeikas effect. Daarentegen nemen de effecten van energiegebruik, verzuring, vast afval, vermisting, oxidantia, humane toxiciteit, aquatische en terrestrische ecotoxiciteit (water/bodem) toe. Het verschil in milieuprofiel van respectievelijk een STEg en KV-STEg met ten opzichte van een STEg² en KV-STEg zonder CO₂-verwijdering worden in figuren 4.3 en 4.4 geïllustreerd. In deze figuren worden de relatieve effectscores opgesplitst naar exploitatie, kolen- of aardgasketen en CO₂-pijpleiding. De toename in effectscore van uitputting is zeer gering en wordt derhalve niet in deze figuren opgenomen.

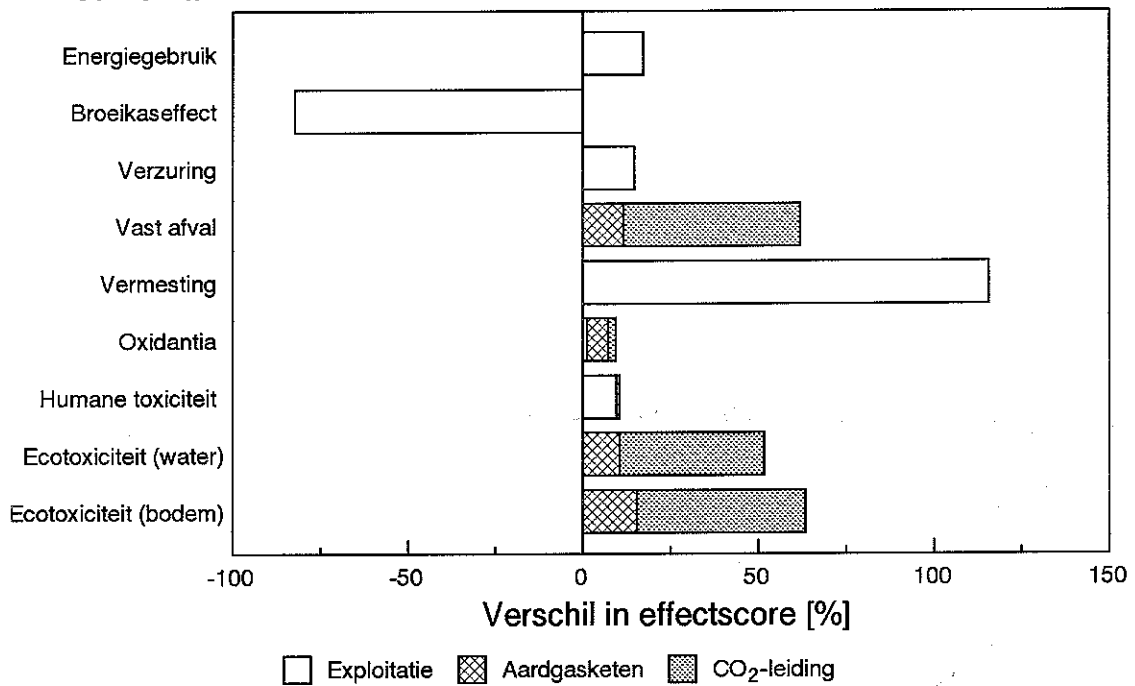
De toegenomen milieu-effecten zijn te wijten aan de 8.5% en 7.5%-punt rendementdaling van respectievelijk een STEg en KV-STEg met CO₂-verwijdering en -opslag door chemische (STEg) of fysische (KV-STEg) absorptie en CO₂-compressie. Door deze rendementdaling van STEg en KV-STEg neemt respectievelijk het capaciteitsbeslag op de aardgasketen toe van 3,0 naar 3,5%³ en het gebruik van de hoeveelheid kolen met circa 20% toe. Daarnaast betekent deze rendementdaling een hoger energiegebruik, resulterend in een verhoogde uitstoot tijdens de exploitatiefase. Ten slotte voorziet ook de produktie van de CO₂-pijpleiding in een toename van een aantal milieu-effecten. Overigens zijn bij gebrek aan gegevens in deze berekening de emissiefactoren voor de bouw/sloop van de elektriciteitscentrale, ondanks de bouw van bijvoorbeeld een gasscheidingsinstallatie, niet aangepast.

Resumerend dringt de vraag zich op of CO₂-verwijdering wel als een verbeteringsoptie gezien kan worden. Dit hangt af van de weging tussen de milieuverbetering bij één milieuthema en de verslechtering bij de anderen.

² Het verschil in milieuprofiel van een STEg waarbij het gastransport vanaf Yamal plaatsvindt, lijkt sterk op de illustratie voor de beschreven situatie waarbij het gastransport vanaf Troll plaatsvindt.

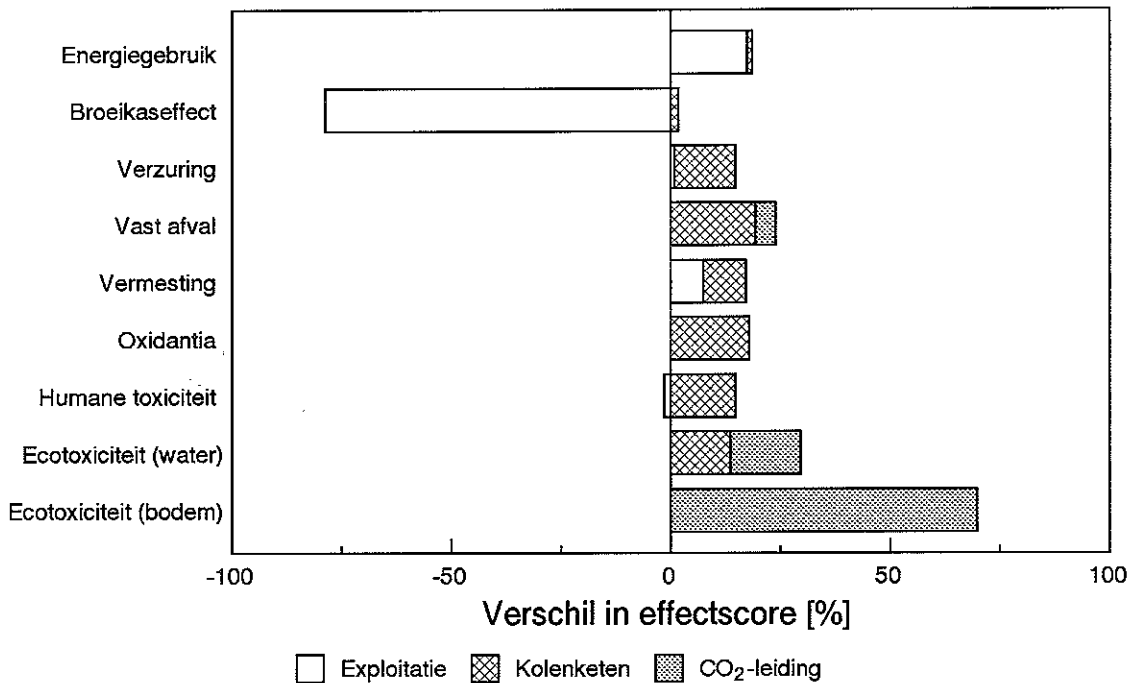
³ Indien het gastransport vanaf Yamal plaatsvindt, neemt het capaciteitsbeslag op de aardgasketen toe van 2,0 naar 2,4%.

Milieuthema



Figuur 4.3 *Verskil in milieuprofiel van een STEG met ten opzichte van een STEG zonder CO₂-verwijdering en -opslag (Gastransport vanaf Troll)*

Milieuthema



Figuur 4.4 *Verskil in milieuprofiel van een KV-STEg met ten opzichte van een KV-STEg zonder CO₂-verwijdering en -opslag*

4.5 Tekortkomingen

Tekortkomingen zijn geconstateerd op het gebied van het software-pakket, de inventarisatie en de normering in zowel de classificatie- als de evaluatiefase. In de case-studies zijn met name de knelpunten in het software-pakket en de inventarisatiefase van belang.

Software-pakket SimaPro 2.1

De voornaamste beperking van het software-pakket SimaPro 2.1 is gelegen in de incomplete opties voor afvalverwerking (stort, verbranding, recycling, hergebruik). Zo kan bij uitvoering van een levenscyclusanalyse een percentage voor deze afvalverwerkingsopties ingevoerd worden, maar dit percentage wordt dan wel toegepast op *alle* benodigde materialen die opgenomen zijn in de betreffende 'assemblies' [11]. De nieuwe versie SimaPro 3.0 beschikt echter over een verbeterde aanpak van de afvalverwerkingsopties [26]. Daarnaast is een gevoeligheidsanalyse slecht uitvoerbaar, omdat dit software-pakket geen mogelijkheden biedt om op een eenvoudige manier een aantal scenario's met verschillende processamenstellingen te vergelijken. De oorzaak hiervan is een door de vele aftakkingen onoverzichtelijke procesboom, zodat elk proces op een eventuele aanpassing gecontroleerd moet worden.

Inventarisatie

Het databestand is de meest cruciale tekortkoming in deze studie. Voor veel processen zijn namelijk geen dan wel verouderde (kwalitatieve) gegevens beschikbaar. Huidige (en toekomstige) milieumaatregelen bij deze processen worden dan ook niet altijd meegenomen. Ook zijn soms alleen de energiekentallen bekend en worden de overige emissiefactoren buiten beschouwing gelaten (bijvoorbeeld de produktie van koper). Daarnaast is het moeilijk om exacte gegevens over produktieprocessen en materiaalgebruik te achterhalen in verband met vertrouwelijkheid. Voorts kunnen de uitkomsten beïnvloed worden door veronderstellingen/afbakening zoals vervoersafstanden, keuze van (een gewogen mix) produktieprocessen en benodigde materialen. Ten slotte vormt de allocatie van emissiefactoren bij meervoudige processen een probleem (bijvoorbeeld de produktie van staal; hierbij worden naast staal ook gassen, slak etc. geproduceerd). In [5] worden aan de hand van het produktieproces van staal een aantal van bovengenoemde hiaten in de inventarisatiefase nader uiteengezet, aangezien dit proces een belangrijke rol speelt in de levenscyclusanalyse van windturbines.

Daar de invalshoek energie in deze studie centraal staat, wordt extra aandacht geschonken aan tekortkomingen op het gebied van elektriciteit. De milieuprofielen voor de elektriciteitsopwekking zijn namelijk onvolledig, omdat het steeds een bepaald type elektriciteitscentrale of het gemiddelde van de elektriciteitsproduktie in één bepaald jaar betreft. Onderstaande punten geven inzicht in de beperkingen hiervan.

- Bij materiaalproduktie, produktassemblage en in de gebruiksfase van een produkt, waarbij elektriciteit benodigd is, zal niet bekend zijn uit welk type centrale de elektriciteit afkomstig is. Ook een statisch (inter)natio-

naal jaargemiddelde geeft geen goed beeld, vanwege de verschillen in het productie/gebruikspatroon van elektriciteit.

- Ook de milieu- en energie-effecten in de brandstofketen voorafgaand aan de elektriciteitscentrale en bij de bouw van centrales, netverliezen tussen producent en gebruiker, import en export van elektriciteit en warmte/kracht-koppeling zouden meegenomen moeten worden.
- De gemiddelde elektriciteitsproductie in één jaar geeft een te statisch beeld. Bij produktontwerp is de elektriciteitssituatie belangrijk over een langere periode, bijvoorbeeld de levensduur van het produkt.
- Er kunnen met produktontwerp en elektriciteit samenhangende 'milieuverbeteringsmogelijkheden' zijn, zoals bijvoorbeeld een warmte/kracht-centrale met warmtegebruik in het productieproces.
- Ook bij elektriciteitsproductie bij afvalverwerking geeft de huidige situatie een te statisch beeld. Bij produktontwerpstudies is de elektriciteitssituatie belangrijk over een langere periode, bijvoorbeeld ook na de levensduur van het produkt.

Normering (classificatie/evaluatie)

Binnen een aantal milieuthema's (bijvoorbeeld ecotoxiciteit, humane toxiciteit, fotochemische oxydantvorming) is (nog) geen consensus bereikt over de classificatie. Naast het ontbreken van een aantal objectief bepaalde weegfactoren binnen de classificatie, is er behoefte aan aggregatie naar één milieumaat voor de evaluatie [27], ook wel milieu-index genoemd [9]. Een dergelijke milieumaat is gewenst om de vergelijkbaarheid van (energieconversie)systemen te bevorderen (zie ook paragraaf 5.1). De classificatie(weg)factoren en milieumaat zouden in een (inter)nationale werkgroep tot stand kunnen komen. Zoals aangegeven in de studie 'milieumaten' van het Nationaal Onderzoekprogramma Hergebruik van afvalstoffen [27] kan aggregatie plaatsvinden op grond van:

- gewichtsfactoren die door experts zijn vastgesteld;
- gelijke gewichtsfactoren;
- beleidsdoelstellingen.

Binnen ECN zijn overigens onlangs weegfactoren voor luchtverontreiniging ontwikkeld, waarbij kosten voor emissiereductie tot het duurzame niveau met elkaar vergeleken worden [28].

Ondanks het feit dat aggregatie van de milieu-effecten naar één milieumaat nog steeds een probleem is, geeft normering van effectscores volgens het protocol van de Vakgroep Natuurwetenschap en Samenleving [25] een indicatie van de prioriteitenstelling voor de (milieu)thema's energiegebruik, uitputting, broeikas-effect, verzuring en vast afval. In ieder geval wordt in deze case-studies een indruk van de relatieve bijdrage per levensfase aan de totale milieubelasting verkregen, ook al staan er classificatiefactoren binnen een aantal milieuthema's (nog) ter discussie.

5. EVALUATIE VAN LCA-STUDIES

5.1 Vergelijkbaarheid

Een vergelijking tussen de case-studies op het gebied van elektriciteitsopwekking onderling en met door anderen uitgevoerde analyses is niet zonder meer mogelijk. Verschillende instituten hanteren vaak verschillende uitgangspunten en de beschikbaarheid van goede, recente data is een probleem in verband met onder andere vertrouwelijke bedrijfsgegevens. Dit is dan ook de reden dat de organisatie SETAC streeft naar standaardisering in terminologie en uitvoering van studies op het gebied van integraal ketenbeheer. Ten slotte is er behoefte aan aggregatie naar één milieumaat voor de evaluatie, ook wel milieu-index genoemd, om een onderlinge vergelijking van studies mogelijk te maken. Om toch tot een vergelijking van energiesystemen welke qua stand-der-techniek en inzetbaarheid overeenkomen, te komen, zijn de volgende randvoorwaarden noodzakelijk:

- een algemeen geaccepteerd databestand;
- dezelfde uitgangspunten en rekenmethode;
- een algemeen aanvaardbare of toepasbare milieu-index.

5.2 Toepasbaarheid

Toepassing van LCA biedt de mogelijkheid om het milieubeslag van een produkt of proces te bepalen. Hierdoor worden de belangrijkste (milieu)problemen in de gehele keten zichtbaar gemaakt en mogelijkheden voor verbeteringen aangegeven. Zo kunnen (milieu)problemen rondom een produkt of proces op een zo gefundeerd mogelijke basis worden aangepakt. Een nadeel van een LCA is dat deze arbeidsintensief is. Dit is met name afhankelijk van het aantal nieuw aan het databestand toe te voegen materialen, processen en weegfactoren. Verder speelt uiteraard ook het leereffect een rol.

Uit de case-studies blijkt dat een levenscyclusanalyse waardevolle additionele informatie kan opleveren. Er wordt namelijk inzicht verkregen welk proces of stadium en in welke mate verantwoordelijk is voor een bepaald milieu-effect. Afhankelijk van de uitoefenbare invloed op het betreffende stadium of proces, de omvang van het milieu-effect en prioriteit van het milieuthema kunnen dan stappen ondernomen worden in de onderzoekplanning door diverse alternatieven (bijvoorbeeld substitutie van materialen, procesverbetering) te beoordelen in een verbeteranalyse. Zo leveren bij de STEG en KV-STEG het gas- of kolentransport en de exploitatie aanzienlijke bijdragen aan een aantal milieuthema's. Het zal echter duidelijk zijn dat hiervoor moeilijk alternatieven gevonden kunnen worden. Uit het onderzoek naar aan land en buitengaats geplaatste windturbines blijkt dat met name het staal productieproces een rol speelt. Afgezien van extra aandacht voor hergebruik (recycling) van stalen componenten kan een windturbinefabrikant hierop weinig invloed uitoefenen. In het geval van een brandstofcel-systeem kunnen bijvoorbeeld wel acties ondernomen worden als de milieu-

effecten toe te schrijven zijn aan het brandstofcelsysteem zelf, omdat gericht naar bijvoorbeeld materiaalsubstitutie gezocht kan worden. Wanneer het mogelijk is om een aantal alternatieven te bestuderen, dan zullen uiteraard ook de kosten in de totaalbeoordeling betrokken moeten worden om tot een optimale keuze te komen.

Inconsistente uitgangspunten, verschil in productfase en beperkte geldigheid door het bestuderen van een statisch systeem maken de LCA-methode - zoals thans beschikbaar - echter minder geschikt voor de vergelijking van energieconversiesystemen. De waarde ligt vooral in het gebruik als hulpinstrument voor het milieuvriendelijk- en herontwerpen van energieconversiesystemen. Met behulp van LCA kunnen dan vroegtijdig knelpunten gesignaleerd worden in de ontwerpfase van een technologie. Hierop kan dan geanticipeerd worden door in een vroeg stadium verbeteringsopties te onderzoeken.

6. CONCLUSIES

Uit het onderzoek naar de toepasbaarheid van ketenanalyse in energie-gerelateerde onderzoeksplanning zijn een drietal conclusies te trekken.

- De waarde van LCA ligt vooral in het gebruik als hulpinstrument voor het milieuvriendelijk- en herontwerpen.
- De LCA-methodiek dient verder uitgewerkt te worden qua databestand en normatieve fase. Alleen dan is de methodiek een waardevol instrument voor (energie-gerelateerde) onderzoeksplanning.
- Er zijn aanknopingspunten voor verder onderzoek naar de LCA-methodiek. Zo kunnen de mogelijkheden die een combinatie van de huidige LCA-methodiek met risico-analyse en/of LP-optimalisatie modellen biedt om de belangrijkste beperkingen van deze methodiek te ondervangen, onderzocht worden. Door het gebruik van dynamische LP-optimalisatie modellen van de materialen- en energiehuishouding kan de bruikbaarheid van LCA in technologieverkenningen worden vergroot.

REFERENTIES

- [1] R. Blackstone, R.C.J. de Vos (red.): *Energieonderzoek Centrum Nederland Jaarverslag 1993*. Petten, ECN, 1994.
- [2] *ENGINE: het ECN-programma gericht op een schone, veilige en duurzame energievoorziening*. Petten, ECN, ECN-B--91-001, 1991.
- [3] F.M.J.A. Diepstraten: *Integraal Ketenbeheer, Een verkenning*. Petten, ECN, ECN-I--93-022, juni 1993.
- [4] I.C. Kok: *Milieugerichte levenscyclusanalyse van een gesmolten carbonaat brandstofcel, Een analyse van een ER-MCFC voor elektriciteitsopwekking*. Petten, ECN, ECN-C--95-049, februari 1996.
- [5] I.C. Kok: *Milieugerichte levenscyclusanalyses van windturbines*. Petten, ECN, ECN-C--95-050, februari 1996.
- [6] I.C. Kok, P. Lako, R. van Ree: *Milieugerichte levenscyclusanalyse van STEG en KV-STEG*. Petten, ECN, ECN-C--95-051, februari 1996.
- [7] Milieu-Effect-rapport: *Uitbreiding Eemscentrale met gasgestookte eenheden EC95/96*. Arnhem, KEMA, januari 1991.
- [8] Milieu-Effect-rapport: *WKC-Swentibold Deel II*. Arnhem, KEMA, augustus 1993.
- [9] R. Heijungs et al.: *Handleiding Milieugerichte levenscyclusanalyses van produkten*. Leiden, Centrum voor Milieukunde, NOH rapport 9253, oktober 1992.
- [10] R. Heijungs et al.: *Achtergronden Milieugerichte levenscyclusanalyses van produkten*. Leiden, Centrum voor Milieukunde, NOH rapport 9254, oktober 1992.
- [11] M.J. Goedkoop et al.: *Handleiding SimaPro 2.0*. Amersfoort, PRé Consultants, juli 1993.
- [12] US Bureau of Mines: *Mineral commodity summaries 1992*. Washington DC, US Department of Interior, 1992.
- [13] J.T. Houghton et al. (ed.): *Climate Change 1992: the supplementary report to the IPCC scientific assessment*. Cambridge, Cambridge University Press, ISBN 0521438292, 1992.
- [14] World Meteorological Organization: *Scientific assessment of ozone depletion: 1991*. Global Ozone Research project, Report no. 25, 1991.

- [15] United Nations - Economic Commission for Europe (UNECE): *Protocol to the convention on long-range transboundary air pollution concerning the control of emissions of volatile organic compounds or their transboundary fluxes*. Geneva, Switzerland, 1991.
- [16] *Grenswaarden ademhalingslucht*. in: D. van de Berg en G.C.M. Korstjens (red.): *ARBO jaarboek 1994*. Amsterdam, NIA/Kluwer, ISBN 90-312-1049-8, 1994, p. 279-323.
- [17] *Waterleidingbesluit*. Staatsblad van het koninkrijk der Nederlanden, stb. 220, april 1984.
- [18] K.J. Kramer, W. Biesiot, H.C. Moll: *Risico-profielen van een levensketen*. Interfacultaire vakgroep Energie en Milieukunde, Rijksuniversiteit Groningen, RMNO rapport 89, november 1993.
- [19] L.G. Fishbone et al.: *User's guide for MARKAL (BNL/KFA version 2.0)*. BNL-51701, Brookhaven National Laboratory, Upton, New York 1983.
- [20] G.A. Goldstein: *PC-MARKAL and the MARKAL user's support system (MUSS), User's guide*. Informal report BNL-46319, Brookhaven National Laboratory, Upton, New York 1991.
- [21] D.J. Gielen, P.A. Okken: *Optimalisation of integrated energy and materials systems*. Petten, ECN, ECN-C-94-010, 1994.
- [22] J.R. Ybema et al.: *Prospects for Energy Technology in the Netherlands (Volume 1 and 2)*. Petten, ECN, ECN-C--95-002 and ECN-C--95-039, 1995.
- [23] P.A. Okken et al.: *Drastische CO₂-reductie. Hoe is het mogelijk*. Petten, ECN, ECN-C--92-066, 1993.
- [24] Persoonlijke communicatie J.R. Ybema. ECN-Beleidsstudies, mei 1994.
- [25] M. van Brummelen, B. van Engelenburg, E. Nieuwlaar: *Methodology for the Life-Cycle Assessment of Energy Technologies*. Utrecht, Vakgroep Natuurwetenschap en Samenleving, Universiteit Utrecht, rapport 94024, 1994.
- [26] *Informatie SimaPro 3.0*. Amersfoort, PRé Consultants, oktober 1994.
- [27] J.W. Nieuwenhuis, R.H.J. Korenromp, TAUW Infraconsults, NOVEM, RIVM: *Milieumaten, Achtergronden*. Deventer, Tauw Infraconsult, NOH rapport 9225.1, juni 1992.
- [28] P. Kroon, J.R. Ybema, J. Slanina, B.G. Arends: *Weegfactoren voor luchtverontreiniging, Systeem voor de integrale evaluatie van de uitwerp van luchtverontreiniging*. Petten, ECN-R--94-006, 1994.

BIJLAGE A. WEEGFACTOREN

In tabel A.1 is een overzicht van de weegfactoren per milieuthema weergegeven. De (engelstalige) data in deze bijlage zijn afkomstig uit het softwarepakket SimaPro 2.1. De classificatiemethode is beschreven in paragraaf 3.3.

Tabel A.1 Weegfactoren per milieuthema

	Milieu-ingreep	Eenheid	Weegfactor
Energiegebruik			MJ
Raw material	barrage water	kg	9.000E-3
Raw material	coal	kg	2.930E+1
Raw material	lignite	kg	1.000E+1
Raw material	natural gas	m ³	3.165E+1
Raw material	oil	kg	4.186E+1
Raw material	unspecified energy	MJ	1.000E+0
Raw material	uranium ore	kg	1.080E+3
Uitputting			1.10¹²/voorraad
Raw material	bauxite ore	kg	3.600E-2
Raw material	boron oxide (B2O3)	kg	1.600E+0
Raw material	cadmium	kg	1.030E+3
Raw material	chrome	kg	1.500E-1
Raw material	cobalt	kg	1.140E+2
Raw material	copper ore	kg	1.700E+0
Raw material	Cr2O3	kg	1.000E-1
Raw material	ferro-manganese	kg	2.000E-1
Raw material	iron ore	kg	4.300E-3
Raw material	K2CO3	kg	4.000E-2
Raw material	K2O (potassium oxide)	kg	5.900E-2
Raw material	lead	kg	7.700E+0
Raw material	mercury	kg	4.170E+3
Raw material	nickel	kg	9.100E+0
Raw material	NiO	kg	7.200E+0
Raw material	phosphate rock	kg	2.900E-2
Raw material	sodium sulphate	kg	2.200E-1
Raw material	steel	kg	6.000E-3
Raw material	sulphur	kg	2.900E-1
Raw material	sulphuric acid (H2SO4)	kg	9.000E-2
Raw material	tin	kg	1.000E+2
Raw material	TiO2	kg	1.570E+2
Raw material	titanium	kg	2.670E+2
Raw material	zinc	kg	3.000E+0
Raw material	zinc sulfide	kg	2.000E+0
Broeikasewffect			GWP 100
Airborne emission	CFC (hard)	kg	7.100E+3
Airborne emission	CFC (soft)	kg	1.600E+3
Airborne emission	CFC-11	kg	3.400E+3
Airborne emission	CFC-113	kg	4.500E+3
Airborne emission	CFC-114	kg	7.000E+3
Airborne emission	CFC-115	kg	7.000E+3
Airborne emission	CFC-116	kg	6.200E+3
Airborne emission	CFC-12 (CCl2F2)	kg	7.100E+3
Airborne emission	CFC-13	kg	1.300E+4
Airborne emission	CFC-14	kg	4.500E+3
Airborne emission	CO2	kg	1.000E+0
Airborne emission	HALON-1301	kg	4.900E+3
Airborne emission	HCFC-123	kg	9.000E+1
Airborne emission	HCFC-124	kg	4.400E+2

	Milieu-ingreep	Eenheid	Weegfactor
Airborne emission	HCFC-141b	kg	5.800E+2
Airborne emission	HCFC-142b	kg	1.800E+3
Airborne emission	HCFC-22	kg	1.600E+3
Airborne emission	HFC-125	kg	3.400E+3
Airborne emission	HFC-134a	kg	1.200E+3
Airborne emission	HFC-143a	kg	3.800E+3
Airborne emission	HFC-152a	kg	1.500E+2
Airborne emission	methane	kg	1.100E+1
Airborne emission	methylene chloride	kg	1.500E+1
Airborne emission	N2O	kg	2.700E+2
Airborne emission	tetrachloromethane	kg	1.300E+3
Airborne emission	trichloroethane (1,1,1)	kg	1.000E+2
Airborne emission	trichloromethane	kg	2.500E+1
Verzuring			AP
Airborne emission	ammonium	kg	1.880E+0
Airborne emission	formic acid (HCO2H)	kg	1.000E+0
Airborne emission	HCl	kg	8.800E-1
Airborne emission	HCN	kg	1.190E+0
Airborne emission	HF	kg	1.600E+0
Airborne emission	NH3	kg	1.880E+0
Airborne emission	NO	kg	1.070E+0
Airborne emission	NO2	kg	7.000E-1
Airborne emission	NOx	kg	7.000E-1
Airborne emission	phenol	kg	3.400E-1
Airborne emission	phosphoric acid (H3PO4)	kg	9.800E-1
Airborne emission	SO2	kg	1.000E+0
Airborne emission	SOx	kg	1.000E+0
Vast afval			kg
Solid emission	activated carbon	kg	1.000E+0
Solid emission	Al2O3	kg	1.000E+0
Solid emission	alkyd paint	kg	1.000E+0
Solid emission	aluminium	kg	1.000E+0
Solid emission	anode material	kg	1.000E+0
Solid emission	arsenic (As)	kg	1.000E+0
Solid emission	barium	kg	1.000E+0
Solid emission	benzene	kg	1.000E+0
Solid emission	benzo(a)pyrene	kg	1.000E+0
Solid emission	bitumen	kg	1.000E+0
Solid emission	brick	kg	1.000E+0
Solid emission	cadmium	kg	1.000E+0
Solid emission	cadmium oxide	kg	1.000E+0
Solid emission	CaF6	kg	1.000E+0
Solid emission	cardboard cellulose	kg	1.000E+0
Solid emission	cardboard chromo	kg	1.000E+0
Solid emission	cardboard duplex	kg	1.000E+0
Solid emission	cardboard gray	kg	1.000E+0
Solid emission	cardboard liquid	kg	1.000E+0
Solid emission	CaSO4.2H2O	kg	1.000E+0
Solid emission	cast aluminium	kg	1.000E+0
Solid emission	cast iron	kg	1.000E+0
Solid emission	caustic soda	kg	1.000E+0
Solid emission	cement mortar	kg	1.000E+0
Solid emission	cement Portland	kg	1.000E+0
Solid emission	cement Portland fly ash	kg	1.000E+0
Solid emission	cement slag	kg	1.000E+0
Solid emission	chemical waste	kg	1.000E+0
Solid emission	clinker Portland	kg	1.000E+0
Solid emission	Co	kg	1.000E+0
Solid emission	coke breeze	kg	1.000E+0
Solid emission	concrete	kg	1.000E+0
Solid emission	concrete (armoured)	kg	1.000E+0
Solid emission	copper	kg	1.000E+0
Solid emission	corrugated board heavy	kg	1.000E+0
Solid emission	corrugated board light	kg	1.000E+0

	Milieu-ingreep	Eenheid	Weegfactor
Solid emission	Cr	kg	1.000E+0
Solid emission	Cr3+	kg	1.000E+0
Solid emission	Cr6+	kg	1.000E+0
Solid emission	cyanide	kg	1.000E+0
Solid emission	cyanide (in complex)	kg	1.000E+0
Solid emission	dichloroethane (1,2)	kg	1.000E+0
Solid emission	epoxy resin	kg	1.000E+0
Solid emission	ethylbenzene	kg	1.000E+0
Solid emission	ferro-slag	kg	1.000E+0
Solid emission	fiber E-glass	kg	1.000E+0
Solid emission	filter lime	kg	1.000E+0
Solid emission	firestone	kg	1.000E+0
Solid emission	fluoranthene	kg	1.000E+0
Solid emission	fly ash	kg	1.000E+0
Solid emission	glass	kg	1.000E+0
Solid emission	gypsum	kg	1.000E+0
Solid emission	heat-resistant material	kg	1.000E+0
Solid emission	Hg	kg	1.000E+0
Solid emission	incinerator waste	kg	1.000E+0
Solid emission	industrial waste	kg	1.000E+0
Solid emission	iron	kg	1.000E+0
Solid emission	jarosite	kg	1.000E+0
Solid emission	K2CO3	kg	1.000E+0
Solid emission	Li2CO3	kg	1.000E+0
Solid emission	LiAlO2	kg	1.000E+0
Solid emission	LiCrO2	kg	1.000E+0
Solid emission	lime (CaO)	kg	1.000E+0
Solid emission	limestone	kg	1.000E+0
Solid emission	lumps of slag	kg	1.000E+0
Solid emission	melting salt	kg	1.000E+0
Solid emission	methylene chloride	kg	1.000E+0
Solid emission	mill dust	kg	1.000E+0
Solid emission	mineral waste	kg	1.000E+0
Solid emission	naphthalene	kg	1.000E+0
Solid emission	nickel	kg	1.000E+0
Solid emission	NiO	kg	1.000E+0
Solid emission	non-toxic chemicals	kg	1.000E+0
Solid emission	oil emulsion	kg	1.000E+0
Solid emission	ore (granular)	kg	1.000E+0
Solid emission	oxides	kg	1.000E+0
Solid emission	oxylime sludge	kg	1.000E+0
Solid emission	paper bleached	kg	1.000E+0
Solid emission	paper kraft-bleached	kg	1.000E+0
Solid emission	paper kraft-unbleached	kg	1.000E+0
Solid emission	paper recycling	kg	1.000E+0
Solid emission	paper unbleached	kg	1.000E+0
Solid emission	Pb	kg	1.000E+0
Solid emission	pet	kg	1.000E+0
Solid emission	petp terephthalic	kg	1.000E+0
Solid emission	phenol	kg	1.000E+0
Solid emission	polyamide	kg	1.000E+0
Solid emission	polyester gelcoat	kg	1.000E+0
Solid emission	polyester GRP	kg	1.000E+0
Solid emission	polyester resin	kg	1.000E+0
Solid emission	polyethylene-hd	kg	1.000E+0
Solid emission	polyethylene-ld	kg	1.000E+0
Solid emission	polypropene	kg	1.000E+0
Solid emission	polystyrene	kg	1.000E+0
Solid emission	polystyrene high-impact	kg	1.000E+0
Solid emission	polyurethane coat	kg	1.000E+0
Solid emission	polyvinyl chloride	kg	1.000E+0
Solid emission	portlandclinker	kg	1.000E+0
Solid emission	PUR	kg	1.000E+0
Solid emission	purification sludge	kg	1.000E+0
Solid emission	PVC	kg	1.000E+0
Solid emission	PVC foam	kg	1.000E+0
Solid emission	raw aluminium	kg	1.000E+0
Solid emission	red brick	kg	1.000E+0

	Milieu-ingreep	Eenheid	Weegfactor
Solid emission	rubber	kg	1.000E+0
Solid emission	Sb	kg	1.000E+0
Solid emission	secondary suction dust	kg	1.000E+0
Solid emission	Silex	kg	1.000E+0
Solid emission	slag	kg	1.000E+0
Solid emission	slag granulates	kg	1.000E+0
Solid emission	slag oxysteel	kg	1.000E+0
Solid emission	slime	kg	1.000E+0
Solid emission	steel	kg	1.000E+0
Solid emission	styrene	kg	1.000E+0
Solid emission	tailings	kg	1.000E+0
Solid emission	tar	kg	1.000E+0
Solid emission	tetrachloroethene	kg	1.000E+0
Solid emission	tetrachloromethane	kg	1.000E+0
Solid emission	tinplate	kg	1.000E+0
Solid emission	titanium	kg	1.000E+0
Solid emission	toluene	kg	1.000E+0
Solid emission	toxic chemicals	kg	1.000E+0
Solid emission	trichloroethene	kg	1.000E+0
Solid emission	trichloromethane	kg	1.000E+0
Solid emission	turbine blade	kg	1.000E+0
Solid emission	turbine mould	kg	1.000E+0
Solid emission	unspecified waste	kg	1.000E+0
Solid emission	vinylchloride	kg	1.000E+0
Solid emission	wood	kg	1.000E+0
Solid emission	xylenes	kg	1.000E+0
Solid emission	yellow brick	kg	1.000E+0
Solid emission	zinc	kg	1.000E+0
Solid emission	zinc-poor residue	kg	1.000E+0
Solid emission	zinc-rich residue	kg	1.000E+0
Solid emission	ZnO	kg	1.000E+0
Solid emission	ZnS	kg	1.000E+0
Vermesting			NP
Airborne emission	ammonium	kg	3.300E-1
Airborne emission	HCN	kg	2.300E-1
Airborne emission	nitrate	kg	4.200E-1
Airborne emission	NO	kg	2.000E-1
Airborne emission	NO2	kg	1.300E-1
Airborne emission	NOx	kg	1.300E-1
Airborne emission	phosphate	kg	1.000E+0
Airborne emission	phosphoric acid (H3PO4)	kg	1.000E+0
Waterborne emission	ammonium ions	kg	3.300E-1
Waterborne emission	COD	kg	2.200E-2
Waterborne emission	cyanide	kg	2.300E-1
Waterborne emission	cyanide (in complex)	kg	1.100E-1
Waterborne emission	di-amine (R1R2NH)	kg	6.000E-2
Waterborne emission	Kjeldahl-N	kg	4.200E-1
Waterborne emission	MEA	kg	1.000E-1
Waterborne emission	NH3	kg	3.300E-1
Waterborne emission	nitrate	kg	4.200E-1
Waterborne emission	nitrogen	kg	4.200E-1
Waterborne emission	phosphate	kg	1.000E+0
Waterborne emission	TEA (triethanolamine)	kg	4.000E-2
Ozonlaagaantasting			ODP
Airborne emission	CFC (hard)	kg	1.000E+0
Airborne emission	CFC (soft)	kg	5.500E-2
Airborne emission	CFC-11	kg	1.000E+0
Airborne emission	CFC-113	kg	1.070E+0
Airborne emission	CFC-114	kg	8.000E-1
Airborne emission	CFC-115	kg	5.000E-1
Airborne emission	CFC-12 (CCl2F2)	kg	1.000E+0
Airborne emission	CH3Br	kg	6.000E-1
Airborne emission	HALON-1201	kg	1.400E+0

	Milieu-ingreep	Eenheid	Weegfactor
Airborne emission	HALON-1202	kg	1.250E+0
Airborne emission	HALON-1211	kg	4.000E+0
Airborne emission	HALON-1301	kg	1.600E+1
Airborne emission	HALON-2311	kg	1.400E-1
Airborne emission	HALON-2401	kg	2.500E-1
Airborne emission	HALON-2402	kg	7.000E+0
Airborne emission	HCFC-123	kg	2.000E-2
Airborne emission	HCFC-124	kg	2.200E-2
Airborne emission	HCFC-141b	kg	1.100E-1
Airborne emission	HCFC-142b	kg	6.500E-2
Airborne emission	HCFC-22	kg	5.500E-2
Airborne emission	HCFC-225ca	kg	2.500E-2
Airborne emission	HCFC-225cb	kg	3.300E-2
Airborne emission	methylchloroform	kg	1.200E-1
Airborne emission	tetrachloromethane	kg	1.080E+0
Airborne emission	trichloroethane (1,1,1)	kg	1.200E-1
Oxidantia			POCP
Airborne emission	acetone	kg	1.780E-1
Airborne emission	alcohols	kg	1.960E-1
Airborne emission	aldehydes	kg	4.430E-1
Airborne emission	benzene	kg	1.890E-1
Airborne emission	benzo(a)pyrene	kg	7.610E-1
Airborne emission	chlorobenzenes	kg	2.100E-2
Airborne emission	chlorophenols	kg	2.100E-2
Airborne emission	crude oil	kg	3.770E-1
Airborne emission	CxHy	kg	3.770E-1
Airborne emission	CxHy aliphatic	kg	3.980E-1
Airborne emission	CxHy aromatic	kg	7.610E-1
Airborne emission	CxHy chloro	kg	2.100E-2
Airborne emission	dichloroethane (1,2)	kg	2.100E-2
Airborne emission	dioctyl phthalate (DOP)	kg	7.610E-1
Airborne emission	dioxin	kg	7.610E-1
Airborne emission	diphenyl	kg	7.610E-1
Airborne emission	e-caprolactam	kg	7.610E-1
Airborne emission	epichlorohydrin	kg	2.100E-2
Airborne emission	esters	kg	2.230E-1
Airborne emission	ethanol	kg	2.680E-1
Airborne emission	ethyl acrylate	kg	2.230E-1
Airborne emission	ethylacetate	kg	2.180E-1
Airborne emission	ethylbenzene	kg	5.930E-1
Airborne emission	ethylene glycol	kg	1.960E-1
Airborne emission	ethylene oxide	kg	3.770E-1
Airborne emission	fluoranthene	kg	7.610E-1
Airborne emission	formaldehyde (H2CO)	kg	4.210E-1
Airborne emission	formic acid (HCO2H)	kg	3.770E-1
Airborne emission	hexachlorobiphenyl	kg	7.610E-1
Airborne emission	isopropanol	kg	1.960E-1
Airborne emission	ketones	kg	3.260E-1
Airborne emission	methane	kg	7.000E-3
Airborne emission	methyl acetate	kg	2.500E-2
Airborne emission	methyl ethyl ketone	kg	4.730E-1
Airborne emission	methyl formiate	kg	2.230E-1
Airborne emission	methyl mercaptane	kg	3.770E-1
Airborne emission	methylene chloride	kg	1.000E-2
Airborne emission	monohydroxy compounds	kg	1.960E-1
Airborne emission	naphthalene	kg	7.610E-1
Airborne emission	oil	kg	3.770E-1
Airborne emission	PAH	kg	7.610E-1
Airborne emission	pentachlorophenol	kg	2.100E-2
Airborne emission	petrol	kg	3.770E-1
Airborne emission	petroleum naphtha	kg	7.610E-1
Airborne emission	phenol	kg	7.610E-1
Airborne emission	phthalates	kg	7.610E-1
Airborne emission	phthalic acid anhydride	kg	7.610E-1
Airborne emission	polychlorobiphenyls	kg	7.610E-1
Airborne emission	styrene	kg	7.610E-1

	Milieu-ingreep	Eenheid	Weegfactor
Airborne emission	terpentine	kg	3.770E-1
Airborne emission	tetrachloroethene	kg	5.000E-3
Airborne emission	tetrachloromethane	kg	2.100E-2
Airborne emission	toluene	kg	5.630E-1
Airborne emission	trichlorobiphenyl (2,5,2)	kg	2.100E-2
Airborne emission	trichloroethane (1,1,1)	kg	2.100E-2
Airborne emission	vinyl acetate	kg	2.230E-1
Airborne emission	vinylchloride	kg	2.100E-2
Airborne emission	VOC	kg	3.770E-1
Airborne emission	VOC-containing Phosphor	kg	3.770E-1
Airborne emission	xylenes	kg	8.500E-1

Humane toxiciteit

HCL/HCW/HCB

Airborne emission	acetone	kg	2.200E-2
Airborne emission	acrylonitrile	kg	2.300E+1
Airborne emission	Al	kg	3.300E+0
Airborne emission	alcohols	kg	1.100E-2
Airborne emission	aldehydes	kg	3.400E-1
Airborne emission	ammonium	kg	2.000E-2
Airborne emission	arsenic (As)	kg	4.700E+3
Airborne emission	barium	kg	1.700E+0
Airborne emission	benzene	kg	3.900E+0
Airborne emission	benzo(a)pyrene	kg	1.700E+1
Airborne emission	borium oxide (B2O3)	kg	3.300E+0
Airborne emission	bromite (Br)	kg	3.300E-2
Airborne emission	butanol (1)	kg	2.200E-2
Airborne emission	Ca	kg	3.300E-2
Airborne emission	cadmium oxide	kg	5.800E+2
Airborne emission	carbon black	kg	2.200E-2
Airborne emission	Cd	kg	5.800E+2
Airborne emission	CFC (hard)	kg	2.200E-2
Airborne emission	CFC (soft)	kg	2.200E-2
Airborne emission	CFC-11	kg	2.000E-2
Airborne emission	CFC-113	kg	9.500E-2
Airborne emission	CFC-114	kg	1.600E-2
Airborne emission	CFC-115	kg	1.700E-2
Airborne emission	CFC-116	kg	1.700E-2
Airborne emission	CFC-12 (CCl2F2)	kg	2.200E-2
Airborne emission	CFC-13	kg	1.300E-2
Airborne emission	CFC-14	kg	2.200E-2
Airborne emission	CH3Br	kg	6.900E-2
Airborne emission	chlorobenzenes	kg	1.900E-1
Airborne emission	chlorophenols	kg	1.100E+1
Airborne emission	Cl	kg	3.300E-2
Airborne emission	Cl2	kg	3.300E-2
Airborne emission	CO	kg	1.200E-2
Airborne emission	CO2	kg	4.000E-5
Airborne emission	coal dust	kg	3.900E-2
Airborne emission	cobalt	kg	2.400E+1
Airborne emission	cokes oven gas	kg	1.100E-2
Airborne emission	Cr	kg	6.700E+0
Airborne emission	Cr3+	kg	6.700E+0
Airborne emission	Cr6+	kg	4.700E+4
Airborne emission	crude oil	kg	7.000E-1
Airborne emission	Cu	kg	2.400E-1
Airborne emission	Cu (dust)	kg	2.400E-1
Airborne emission	CxHy	kg	2.200E-2
Airborne emission	CxHy aliphatic	kg	2.200E-2
Airborne emission	CxHy aromatic	kg	3.900E+0
Airborne emission	CxHy chloro	kg	2.400E+0
Airborne emission	cyanide	kg	6.700E-1
Airborne emission	cyanide (in complex)	kg	2.600E+0
Airborne emission	dichloroethane (1,2)	kg	2.400E+0
Airborne emission	diethylether	kg	2.200E-2
Airborne emission	dioctyl phthalate (DOP)	kg	1.300E+0
Airborne emission	dioxin	kg	3.300E+6

	Milieu-ingreep	Eenheid	Weegfactor
Airborne emission	diphenyl	kg	2.700E-1
Airborne emission	DMT	kg	1.300E+0
Airborne emission	dust	kg	7.700E-3
Airborne emission	e-caprolactam	kg	1.100E+0
Airborne emission	epichlorohydrin	kg	2.500E-2
Airborne emission	esters	kg	3.000E-3
Airborne emission	ethanol	kg	1.100E-2
Airborne emission	ethyl acrylate	kg	9.100E-1
Airborne emission	ethylacetate	kg	1.300E-3
Airborne emission	ethylbenzene	kg	1.500E+0
Airborne emission	ethylene glycol	kg	8.300E-1
Airborne emission	ethylene oxide	kg	2.400E-1
Airborne emission	F	kg	4.800E-1
Airborne emission	Fe	kg	4.200E-2
Airborne emission	ferrous oxide	kg	6.700E-2
Airborne emission	fluoranthene	kg	1.700E+0
Airborne emission	formaldehyde (H2CO)	kg	4.000E+1
Airborne emission	formic acid (HCO2H)	kg	6.700E+0
Airborne emission	H2S	kg	7.800E-1
Airborne emission	H2SO4	kg	6.000E+0
Airborne emission	HALON-1201	kg	3.300E-2
Airborne emission	HALON-1202	kg	3.300E-2
Airborne emission	HALON-1211	kg	3.300E-2
Airborne emission	HALON-1301	kg	3.300E-2
Airborne emission	HALON-2311	kg	3.300E-2
Airborne emission	HALON-2401	kg	3.300E-2
Airborne emission	HALON-2402	kg	3.300E-2
Airborne emission	HCFC-123	kg	2.200E-2
Airborne emission	HCFC-124	kg	2.200E-2
Airborne emission	HCFC-141b	kg	1.300E-2
Airborne emission	HCFC-142b	kg	1.300E-2
Airborne emission	HCFC-22	kg	3.100E-2
Airborne emission	HCFC-225ca	kg	2.200E-2
Airborne emission	HCFC-225cb	kg	2.200E-2
Airborne emission	HCl	kg	3.300E-2
Airborne emission	HCN	kg	6.700E-1
Airborne emission	hexachlorobiphenyl	kg	3.700E+2
Airborne emission	HF	kg	4.800E-1
Airborne emission	HFC-125	kg	2.200E-2
Airborne emission	HFC-134a	kg	2.200E-2
Airborne emission	HFC-143a	kg	1.300E-2
Airborne emission	HFC-152a	kg	1.300E-2
Airborne emission	Hg	kg	1.200E+2
Airborne emission	Hg-alkyl	kg	1.200E+2
Airborne emission	isopropanol	kg	2.200E-2
Airborne emission	KCl	kg	3.300E-2
Airborne emission	ketones	kg	2.200E-2
Airborne emission	metals	kg	1.200E+2
Airborne emission	methane	kg	2.200E-2
Airborne emission	methyl acetate	kg	3.000E-3
Airborne emission	methyl ethyl ketone	kg	3.700E-2
Airborne emission	methyl formiate	kg	7.300E-3
Airborne emission	methyl mercaptane	kg	2.200E+1
Airborne emission	methylchloroform	kg	5.500E-2
Airborne emission	methylene chloride	kg	6.900E-2
Airborne emission	Mg	kg	3.300E+0
Airborne emission	Mn	kg	1.200E+2
Airborne emission	Mo	kg	3.300E+0
Airborne emission	monohydroxy compounds	kg	2.200E-2
Airborne emission	N2O	kg	2.000E-2
Airborne emission	Na2SO4	kg	3.800E-2
Airborne emission	naphthalene	kg	7.000E-1
Airborne emission	NH3	kg	2.000E-2
Airborne emission	Ni	kg	4.700E+2
Airborne emission	nitrate	kg	9.100E-3
Airborne emission	NO	kg	7.800E-1
Airborne emission	NO2	kg	7.800E-1
Airborne emission	NOx	kg	7.800E-1

	Milieu-ingreep	Eenheid	Weegfactor
Airborne emission	oil	kg	7.000E-1
Airborne emission	organics (other)	kg	2.200E-2
Airborne emission	PAH	kg	1.700E+0
Airborne emission	Pb	kg	1.600E+2
Airborne emission	PbO	kg	1.600E+2
Airborne emission	pentachlorophenol	kg	1.100E+0
Airborne emission	petrol	kg	1.700E+0
Airborne emission	petroleum naphtha	kg	7.000E-1
Airborne emission	phenol	kg	5.600E-1
Airborne emission	phosphate	kg	4.800E-4
Airborne emission	phosphoric acid (H3PO4)	kg	2.400E-3
Airborne emission	phthalates	kg	1.300E+0
Airborne emission	phthalic acid anhydride	kg	1.300E+0
Airborne emission	polychlorobiphenyls	kg	3.700E+2
Airborne emission	Sn	kg	1.700E-2
Airborne emission	SO2	kg	1.200E+0
Airborne emission	soot	kg	2.200E-2
Airborne emission	SOx	kg	1.200E+0
Airborne emission	styrene	kg	1.500E-1
Airborne emission	terpentine	kg	3.900E+0
Airborne emission	tetrachloroethene	kg	4.700E-2
Airborne emission	tetrachloromethane	kg	1.900E+0
Airborne emission	toluene	kg	3.900E-2
Airborne emission	trichlorobiphenyl (2,5,2)	kg	3.700E+2
Airborne emission	trichloroethane (1,1,1)	kg	2.400E+0
Airborne emission	trichloromethane	kg	1.200E+0
Airborne emission	vinyl acetate	kg	6.000E-2
Airborne emission	vinylchloride	kg	1.200E+0
Airborne emission	VOC	kg	2.200E-2
Airborne emission	VOC-containing Phosphor	kg	2.200E-2
Airborne emission	xylenes	kg	2.200E+0
Airborne emission	zinc oxide	kg	3.300E-2
Airborne emission	Zn	kg	3.300E-2
Waterborne emission	acid	kg	2.000E-4
Waterborne emission	Ag	kg	5.700E-2
Waterborne emission	Al	kg	4.100E-5
Waterborne emission	ammonium ions	kg	1.700E-3
Waterborne emission	anorg. dissolved subst.	kg	3.600E-3
Waterborne emission	anorg. suspended subst.	kg	1.700E-3
Waterborne emission	AOX	kg	2.000E-1
Waterborne emission	arsenic (As)	kg	1.400E+0
Waterborne emission	asbestos	kg	1.700E-3
Waterborne emission	barium	kg	1.400E-1
Waterborne emission	base	kg	2.000E-4
Waterborne emission	benzene	kg	6.600E-1
Waterborne emission	benzo(a)pyrene	kg	1.400E+0
Waterborne emission	bisphenol A	kg	4.800E-2
Waterborne emission	BOD	kg	1.600E-3
Waterborne emission	Br	kg	2.900E-3
Waterborne emission	BSB5	kg	1.600E-3
Waterborne emission	Ca	kg	7.000E-4
Waterborne emission	Cd	kg	2.900E+0
Waterborne emission	chlorobenzenes	kg	5.700E+0
Waterborne emission	chlorophenols	kg	9.500E-1
Waterborne emission	Cl	kg	2.900E-3
Waterborne emission	Co	kg	2.000E+0
Waterborne emission	COD	kg	4.000E-4
Waterborne emission	Cr	kg	5.700E-1
Waterborne emission	Cr3+	kg	5.700E-1
Waterborne emission	Cr6+	kg	4.100E+3
Waterborne emission	crude oil	kg	5.700E-2
Waterborne emission	Cu	kg	2.000E-2
Waterborne emission	CxHy	kg	1.900E-3
Waterborne emission	CxHy aliphatic	kg	1.900E-3
Waterborne emission	CxHy aromatic	kg	6.600E-1
Waterborne emission	CxHy chloro	kg	2.000E-1
Waterborne emission	cyanide	kg	5.700E-2

	Milieu-ingreep	Eenheid	Weegfactor
Waterborne emission	cyanide (in complex)	kg	2.200E-1
Waterborne emission	di-amine (R1R2NH)	kg	8.000E-4
Waterborne emission	dichloroethane (1,2)	kg	2.000E-1
Waterborne emission	dioxin	kg	2.900E+5
Waterborne emission	dissolved organics	kg	1.900E-3
Waterborne emission	E-glass polymer coating	kg	1.700E-3
Waterborne emission	ethylacetate	kg	1.100E-4
Waterborne emission	ethylbenzene	kg	2.100E-2
Waterborne emission	F	kg	4.100E-2
Waterborne emission	Fe	kg	3.600E-3
Waterborne emission	ferrous oxide	kg	5.700E-3
Waterborne emission	fluoranthene	kg	1.400E-1
Waterborne emission	formaldehyde (H2CO)	kg	3.100E+0
Waterborne emission	H2SO4	kg	3.300E-3
Waterborne emission	halogen compounds	kg	2.900E-3
Waterborne emission	HCl	kg	2.900E-3
Waterborne emission	hexachlorobiphenyl	kg	3.200E+1
Waterborne emission	HF	kg	4.100E-2
Waterborne emission	Hg	kg	4.700E+0
Waterborne emission	Hg-alkyl	kg	7.100E+0
Waterborne emission	isopropanol	kg	1.900E-3
Waterborne emission	Kjeldahl-N	kg	8.000E-4
Waterborne emission	MEA	kg	8.000E-4
Waterborne emission	mercaptane	kg	1.900E+0
Waterborne emission	metals	kg	3.600E-3
Waterborne emission	methylene chloride	kg	4.800E-2
Waterborne emission	Mg	kg	4.100E-3
Waterborne emission	Mo	kg	2.900E-1
Waterborne emission	Na	kg	2.100E-3
Waterborne emission	naphthalene	kg	5.700E-2
Waterborne emission	NH3	kg	1.700E-3
Waterborne emission	Ni	kg	5.700E-2
Waterborne emission	nitrate	kg	7.800E-4
Waterborne emission	oil	kg	5.700E-2
Waterborne emission	organic chloro compounds	kg	2.000E-1
Waterborne emission	organic solvent	kg	1.900E-3
Waterborne emission	PAH	kg	1.400E-1
Waterborne emission	Pb	kg	7.900E-1
Waterborne emission	pentachlorophenol	kg	9.500E-2
Waterborne emission	peroxide	kg	1.900E-3
Waterborne emission	petrol	kg	9.200E-4
Waterborne emission	phenol	kg	4.800E-2
Waterborne emission	phosphate	kg	4.100E-5
Waterborne emission	phthalates	kg	1.100E-1
Waterborne emission	polychlorobiphenyls	kg	3.200E+1
Waterborne emission	Sb	kg	1.700E+0
Waterborne emission	Selexol	kg	1.900E-3
Waterborne emission	Sn	kg	1.400E-3
Waterborne emission	SO4	kg	3.300E-3
Waterborne emission	soot	kg	1.700E-3
Waterborne emission	sulphur	kg	3.300E-3
Waterborne emission	suspended substances	kg	1.700E-3
Waterborne emission	TEA (triethanolamine)	kg	8.000E-4
Waterborne emission	tetrachloroethane (1,1,2,2)	kg	1.800E-1
Waterborne emission	tetrachloroethene	kg	1.800E-1
Waterborne emission	tetrachloromethane	kg	7.100E-1
Waterborne emission	TOC	kg	7.100E+0
Waterborne emission	toluene	kg	6.600E-3
Waterborne emission	trichlorobiphenyl (2,5,2)	kg	3.200E+1
Waterborne emission	trichloromethane	kg	9.500E-2
Waterborne emission	vinylchloride	kg	8.200E-1
Waterborne emission	xlenes	kg	2.900E-1
Waterborne emission	Zn	kg	2.900E-3
Solid emission	arsenic (As)	kg	4.300E-2
Solid emission	barium	kg	1.900E-2

	Milieu-ingreep	Eenheid	Weegfactor
Solid emission	benzo(a)pyrene	kg	1.300E-2
Solid emission	cadmium	kg	7.000E+0
Solid emission	cadmium oxide	kg	7.000E+0
Solid emission	Co	kg	6.500E-2
Solid emission	consumed oil	m ³	3.850E+1
Solid emission	copper	kg	5.200E-3
Solid emission	Cr	kg	1.800E-2
Solid emission	Cr3+	kg	1.800E-2
Solid emission	Cr6+	kg	1.300E+2
Solid emission	cyanide	kg	1.400E+0
Solid emission	cyanide (in complex)	kg	5.400E+0
Solid emission	dichloroethane (1,2)	kg	7.100E+0
Solid emission	ethylbenzene	kg	1.500E-1
Solid emission	fluoranthene	kg	6.600E-2
Solid emission	Hg	kg	1.500E-1
Solid emission	K2CO3	kg	4.500E-5
Solid emission	Li2CO3	kg	1.500E-1
Solid emission	LiAlO2	kg	1.500E-1
Solid emission	LiCrO2	kg	1.500E-1
Solid emission	methylene chloride	kg	1.600E+0
Solid emission	naphthalene	kg	4.000E-2
Solid emission	nickel	kg	1.400E-2
Solid emission	NiO	kg	1.400E-2
Solid emission	Pb	kg	2.500E-2
Solid emission	phenol	kg	6.200E-1
Solid emission	Sb	kg	1.900E-2
Solid emission	styrene	kg	1.700E-1
Solid emission	tetrachloroethene	kg	7.600E+0
Solid emission	tetrachloromethane	kg	3.200E+1
Solid emission	tinplate	kg	4.500E-5
Solid emission	toluene	kg	9.800E-2
Solid emission	toxic chemicals	kg	1.500E+1
Solid emission	trichloroethene	kg	1.000E-1
Solid emission	trichloromethane	kg	3.300E+0
Solid emission	vinylchloride	kg	3.200E+2
Solid emission	xylenes	kg	1.500E+0
Solid emission	zinc	kg	7.000E-3
Solid emission	zinc-rich residue	kg	3.500E-3
Solid emission	ZnO	kg	7.000E-3
Solid emission	ZnS	kg	7.000E-3

Humane toxiciteit (lucht)

1/MAC

Airborne emission	acetone	kg	5.620E+2
Airborne emission	acrylonitrile	kg	1.110E+5
Airborne emission	Al	kg	1.000E+5
Airborne emission	alcohols	kg	5.260E+2
Airborne emission	aldehydes	kg	5.560E+3
Airborne emission	ammonium	kg	5.560E+4
Airborne emission	arsenic (As)	kg	2.000E+7
Airborne emission	barium	kg	2.000E+6
Airborne emission	benzene	kg	3.330E+4
Airborne emission	benzo(a)pyrene	kg	5.000E+6
Airborne emission	borium oxide (B2O3)	kg	1.000E+5
Airborne emission	bromite (Br)	kg	1.430E+6
Airborne emission	butanol (1)	kg	6.670E+3
Airborne emission	Ca	kg	2.000E+5
Airborne emission	cadmium oxide	kg	2.000E+7
Airborne emission	carbon black	kg	2.860E+5
Airborne emission	Cd	kg	5.000E+7
Airborne emission	CFC (hard)	kg	1.980E+2
Airborne emission	CFC (soft)	kg	1.500E+2
Airborne emission	CFC-11	kg	1.790E+2
Airborne emission	CFC-113	kg	8.550E+2
Airborne emission	CFC-114	kg	1.400E+2
Airborne emission	CFC-115	kg	1.550E+2
Airborne emission	CFC-116	kg	1.550E+2
Airborne emission	CFC-12 (CCl2F2)	kg	1.980E+2

	Milieu-ingreep	Eenheid	Weegfactor
Airborne emission	CFC-13	kg	1.150E+2
Airborne emission	CFC-14	kg	1.980E+2
Airborne emission	CH3Br	kg	5.000E+4
Airborne emission	chlorobenzenes	kg	2.170E+4
Airborne emission	chlorophenols	kg	1.000E+5
Airborne emission	Cl	kg	3.330E+5
Airborne emission	Cl2	kg	3.330E+5
Airborne emission	CO	kg	3.450E+4
Airborne emission	CO2	kg	1.110E+2
Airborne emission	coal dust	kg	5.000E+5
Airborne emission	cobalt	kg	2.000E+7
Airborne emission	cokes oven gas	kg	3.220E+4
Airborne emission	Cr	kg	2.000E+6
Airborne emission	Cr3+	kg	2.000E+6
Airborne emission	Cr6+	kg	4.000E+7
Airborne emission	crude oil	kg	2.000E+5
Airborne emission	Cu	kg	5.000E+6
Airborne emission	Cu (dust)	kg	1.000E+6
Airborne emission	CxHy	kg	2.000E+3
Airborne emission	CxHy aliphatic	kg	1.020E+3
Airborne emission	CxHy aromatic	kg	3.330E+4
Airborne emission	CxHy chloro	kg	5.000E+3
Airborne emission	cyanide	kg	2.000E+5
Airborne emission	cyanide (in complex)	kg	2.000E+7
Airborne emission	dichloroethane (1,2)	kg	5.000E+3
Airborne emission	diethylether	kg	8.330E+2
Airborne emission	dioctyl phthalate (DOP)	kg	2.000E+5
Airborne emission	dioxin	kg	5.000E+6
Airborne emission	diphenyl	kg	1.000E+6
Airborne emission	DMT	kg	2.000E+5
Airborne emission	dust	kg	1.000E+5
Airborne emission	e-caprolactam	kg	5.000E+4
Airborne emission	epichlorohydrin	kg	2.500E+5
Airborne emission	esters	kg	1.640E+3
Airborne emission	ethanol	kg	5.260E+2
Airborne emission	ethyl acrylate	kg	5.000E+4
Airborne emission	ethylacetate	kg	7.140E+2
Airborne emission	ethylbenzene	kg	4.650E+3
Airborne emission	ethylene glycol	kg	3.800E+4
Airborne emission	ethylene oxide	kg	1.110E+4
Airborne emission	F	kg	5.000E+5
Airborne emission	Fe	kg	2.000E+5
Airborne emission	ferrous oxide	kg	2.000E+5
Airborne emission	fluoranthene	kg	5.000E+6
Airborne emission	formaldehyde (H2CO)	kg	6.670E+5
Airborne emission	formic acid (HCO2H)	kg	1.110E+5
Airborne emission	H2S	kg	6.670E+4
Airborne emission	H2SO4	kg	1.000E+6
Airborne emission	HALON-1201	kg	1.540E+3
Airborne emission	HALON-1202	kg	1.540E+3
Airborne emission	HALON-1211	kg	1.540E+3
Airborne emission	HALON-1301	kg	1.540E+3
Airborne emission	HALON-2311	kg	1.540E+3
Airborne emission	HALON-2401	kg	1.540E+3
Airborne emission	HALON-2402	kg	1.540E+3
Airborne emission	HCFC-123	kg	1.500E+2
Airborne emission	HCFC-124	kg	1.500E+2
Airborne emission	HCFC-141b	kg	1.190E+2
Airborne emission	HCFC-142b	kg	1.190E+2
Airborne emission	HCFC-22	kg	2.780E+2
Airborne emission	HCFC-225ca	kg	1.500E+2
Airborne emission	HCFC-225cb	kg	1.500E+2
Airborne emission	HCl	kg	1.430E+5
Airborne emission	HCN	kg	9.090E+4
Airborne emission	hexachlorobiphenyl	kg	1.000E+5
Airborne emission	HF	kg	5.000E+5
Airborne emission	HFC-125	kg	1.500E+2
Airborne emission	HFC-134a	kg	1.500E+2

	Milieu-ingreep	Eenheid	Weegfactor
Airborne emission	HFC-143a	kg	1.190E+2
Airborne emission	HFC-152a	kg	1.190E+2
Airborne emission	Hg	kg	2.000E+7
Airborne emission	Hg-alkyl	kg	1.000E+8
Airborne emission	isopropanol	kg	1.020E+3
Airborne emission	KCl	kg	5.000E+5
Airborne emission	ketones	kg	1.000E+3
Airborne emission	metals	kg	1.000E+6
Airborne emission	methane	kg	1.020E+3
Airborne emission	methyl acetate	kg	1.640E+3
Airborne emission	methyl ethyl ketone	kg	1.690E+3
Airborne emission	methyl formiate	kg	4.000E+3
Airborne emission	methyl mercaptane	kg	1.000E+6
Airborne emission	methylchloroform	kg	9.260E+2
Airborne emission	methylene chloride	kg	2.860E+3
Airborne emission	Mg	kg	1.000E+5
Airborne emission	Mn	kg	1.000E+6
Airborne emission	Mo	kg	1.000E+5
Airborne emission	monohydroxy compounds	kg	5.260E+2
Airborne emission	N2O	kg	6.580E+3
Airborne emission	Na2SO4	kg	2.000E+5
Airborne emission	naphthalene	kg	2.000E+4
Airborne emission	NH3	kg	5.560E+4
Airborne emission	Ni	kg	1.000E+7
Airborne emission	nitrate	kg	2.500E+5
Airborne emission	NO	kg	3.330E+4
Airborne emission	NO2	kg	2.500E+5
Airborne emission	NOx	kg	2.500E+5
Airborne emission	oil	kg	2.000E+5
Airborne emission	organics (other)	kg	1.000E+3
Airborne emission	PAH	kg	5.000E+6
Airborne emission	Pb	kg	6.670E+6
Airborne emission	PbO	kg	6.670E+6
Airborne emission	pentachlorophenol	kg	1.670E+7
Airborne emission	petrol	kg	2.000E+5
Airborne emission	petroleum naphtha	kg	2.000E+5
Airborne emission	phenol	kg	5.260E+4
Airborne emission	phosphate	kg	2.000E+5
Airborne emission	phosphoric acid (H3PO4)	kg	1.000E+6
Airborne emission	phthalates	kg	2.000E+5
Airborne emission	phthalic acid anhydride	kg	1.000E+6
Airborne emission	polychlorobiphenyls	kg	1.000E+5
Airborne emission	Sn	kg	5.000E+5
Airborne emission	SO2	kg	2.000E+5
Airborne emission	soot	kg	2.860E+5
Airborne emission	SOx	kg	2.000E+5
Airborne emission	styrene	kg	4.760E+3
Airborne emission	terpentine	kg	2.000E+3
Airborne emission	tetrachloroethene	kg	4.170E+3
Airborne emission	tetrachloromethane	kg	4.170E+3
Airborne emission	toluene	kg	2.670E+3
Airborne emission	trichlorobiphenyl (2,5,2)	kg	1.000E+5
Airborne emission	trichloroethane (1,1,1)	kg	9.260E+2
Airborne emission	trichloromethane	kg	2.000E+4
Airborne emission	vinyl acetate	kg	3.330E+4
Airborne emission	vinylchloride	kg	1.000E+5
Airborne emission	VOC	kg	1.000E+3
Airborne emission	VOC-containing Phosphor	kg	1.000E+3
Airborne emission	xylenes	kg	2.300E+3
Airborne emission	zinc oxide	kg	2.000E+5
Airborne emission	Zn	kg	2.000E+5

Milieu-ingreep	Eenheid	Weegfactor
Humane toxiciteit (water)		1/OvD
Waterborne emission acid	kg	1.000E+3
Waterborne emission Ag	kg	1.000E+5
Waterborne emission Al	kg	5.000E+3
Waterborne emission ammonium ions	kg	8.300E+2
Waterborne emission anorg. dissolved subst.	kg	2.000E+3
Waterborne emission anorg. suspended subst.	kg	2.000E+1
Waterborne emission AOX	kg	5.000E+3
Waterborne emission arsenic (As)	kg	5.000E+4
Waterborne emission asbestos	kg	1.000E+3
Waterborne emission barium	kg	5.000E+3
Waterborne emission base	kg	1.000E+3
Waterborne emission benzene	kg	5.000E+3
Waterborne emission benzo(a)pyrene	kg	5.000E+6
Waterborne emission bisphenol A	kg	2.000E+5
Waterborne emission BOD	kg	1.400E+2
Waterborne emission Br	kg	5.000E+0
Waterborne emission BSB5	kg	1.400E+2
Waterborne emission Ca	kg	1.700E+1
Waterborne emission Cd	kg	6.700E+5
Waterborne emission chlorobenzenes	kg	5.000E+3
Waterborne emission chlorophenols	kg	2.000E+5
Waterborne emission Cl	kg	5.000E+0
Waterborne emission Co	kg	1.000E+6
Waterborne emission COD	kg	3.300E+1
Waterborne emission Cr	kg	2.000E+4
Waterborne emission Cr3+	kg	2.000E+4
Waterborne emission Cr6+	kg	2.000E+4
Waterborne emission crude oil	kg	5.000E+3
Waterborne emission Cu	kg	2.000E+4
Waterborne emission CxHy	kg	5.000E+3
Waterborne emission CxHy aliphatic	kg	5.000E+3
Waterborne emission CxHy aromatic	kg	5.000E+3
Waterborne emission CxHy chloro	kg	5.000E+3
Waterborne emission cyanide	kg	2.000E+4
Waterborne emission cyanide (in complex)	kg	2.000E+4
Waterborne emission di-amine (R1R2NH)	kg	5.000E+3
Waterborne emission dichloroethane (1,2)	kg	5.000E+3
Waterborne emission dioxin	kg	5.000E+6
Waterborne emission dissolved organics	kg	5.000E+3
Waterborne emission dissolved substances	kg	2.000E+1
Waterborne emission E-glass polymer coating	kg	1.000E+3
Waterborne emission ethylacetate	kg	5.000E+3
Waterborne emission ethylbenzene	kg	5.000E+3
Waterborne emission F	kg	1.000E+3
Waterborne emission Fe	kg	2.000E+3
Waterborne emission ferrous oxide	kg	2.000E+3
Waterborne emission fluoranthene	kg	5.000E+6
Waterborne emission formaldehyde (H2CO)	kg	5.000E+3
Waterborne emission H2SO4	kg	1.000E+1
Waterborne emission halogen compounds	kg	5.000E+3
Waterborne emission HCl	kg	5.000E+0
Waterborne emission hexachlorobiphenyl	kg	5.000E+3
Waterborne emission HF	kg	1.000E+3
Waterborne emission Hg	kg	3.300E+6
Waterborne emission Hg-alkyl	kg	3.300E+6
Waterborne emission isopropanol	kg	5.000E+3
Waterborne emission Kjeldahl-N	kg	4.000E+2
Waterborne emission MEA	kg	5.000E+3
Waterborne emission mercaptane	kg	5.000E+3
Waterborne emission metals	kg	2.000E+3
Waterborne emission methylene chloride	kg	5.000E+3
Waterborne emission Mg	kg	5.000E+1
Waterborne emission Mo	kg	5.000E+1
Waterborne emission Na	kg	8.300E+0
Waterborne emission naphthalene	kg	5.000E+6
Waterborne emission NH3	kg	8.300E+2

	Milieu-ingreep	Eenheid	Weegfactor
Waterborne emission	Ni	kg	1.000E+5
Waterborne emission	nitrate	kg	2.000E+1
Waterborne emission	oil	kg	5.000E+3
Waterborne emission	organic chloro compounds	kg	5.000E+3
Waterborne emission	organic solvent	kg	5.000E+3
Waterborne emission	PAH	kg	5.000E+6
Waterborne emission	Pb	kg	3.300E+4
Waterborne emission	pentachlorophenol	kg	2.000E+5
Waterborne emission	peroxide	kg	5.000E+3
Waterborne emission	petrol	kg	5.000E+3
Waterborne emission	phenol	kg	2.000E+5
Waterborne emission	phosphate	kg	5.000E+3
Waterborne emission	phthalates	kg	5.000E+3
Waterborne emission	polychlorobiphenyls	kg	2.000E+5
Waterborne emission	Sb	kg	5.000E+3
Waterborne emission	Selexol	kg	5.000E+3
Waterborne emission	Sn	kg	8.300E+1
Waterborne emission	SO4	kg	1.000E+1
Waterborne emission	soot	kg	1.000E+3
Waterborne emission	sulphur	kg	1.000E+1
Waterborne emission	suspended substances	kg	2.000E+1
Waterborne emission	TEA (triethanolamine)	kg	5.000E+3
Waterborne emission	tetrachloroethane (1,1,2,2)	kg	5.000E+3
Waterborne emission	tetrachloroethene	kg	5.000E+3
Waterborne emission	tetrachloromethane	kg	5.000E+3
Waterborne emission	TOC	kg	5.000E+6
Waterborne emission	toluene	kg	5.000E+3
Waterborne emission	trichlorobiphenyl (2,5,2)	kg	2.000E+5
Waterborne emission	trichloromethane	kg	5.000E+3
Waterborne emission	vinylchloride	kg	5.000E+3
Waterborne emission	xylenes	kg	5.000E+3
Waterborne emission	Zn	kg	5.000E+3
Humane toxiciteit (bodem)			HCB
Solid emission	arsenic (As)	kg	4.300E-2
Solid emission	barium	kg	1.900E-2
Solid emission	benzo(a)pyrene	kg	1.300E-2
Solid emission	cadmium	kg	7.000E+0
Solid emission	cadmium oxide	kg	7.000E+0
Solid emission	chemical waste	kg	1.000E+0
Solid emission	Co	kg	6.500E-2
Solid emission	consumed oil	m ³	3.850E+1
Solid emission	copper	kg	5.200E-3
Solid emission	Cr	kg	1.800E-2
Solid emission	Cr3+	kg	1.800E-2
Solid emission	Cr6+	kg	1.300E+2
Solid emission	cyanide	kg	1.400E+0
Solid emission	cyanide (in complex)	kg	5.400E+0
Solid emission	dichloroethane (1,2)	kg	7.100E+0
Solid emission	ethylbenzene	kg	1.500E-1
Solid emission	fluoranthene	kg	6.600E-2
Solid emission	Hg	kg	1.500E-1
Solid emission	K2CO3	kg	4.500E-5
Solid emission	Li2CO3	kg	1.500E-1
Solid emission	LiAlO2	kg	1.500E-1
Solid emission	LiCrO2	kg	1.500E-1
Solid emission	methylene chloride	kg	1.600E+0
Solid emission	naphthalene	kg	4.000E-2
Solid emission	nickel	kg	1.400E-2
Solid emission	NiO	kg	1.400E-2
Solid emission	Pb	kg	2.500E-2
Solid emission	phenol	kg	6.200E-1
Solid emission	Sb	kg	1.900E-2

	Milieu-ingreep	Eenheid	Weegfactor
Solid emission	styrene	kg	1.700E-1
Solid emission	tetrachloroethene	kg	7.600E+0
Solid emission	tetrachloromethane	kg	3.200E+1
Solid emission	tinplate	kg	4.500E-5
Solid emission	toluene	kg	9.800E-2
Solid emission	toxic chemicals	kg	1.500E+1
Solid emission	trichloroethene	kg	1.000E-1
Solid emission	trichloromethane	kg	3.300E+0
Solid emission	vinylchloride	kg	3.200E+2
Solid emission	xylenes	kg	1.500E+0
Solid emission	zinc	kg	7.000E-3
Solid emission	zinc-rich residue	kg	3.500E-3
Solid emission	ZnO	kg	7.000E-3
Solid emission	ZnS	kg	7.000E-3
Ecotoxiciteit (water)			ECA
Waterborne emission	AOX	kg	9.400E-4
Waterborne emission	arsenic (As)	kg	2.000E-1
Waterborne emission	benzene	kg	2.900E-2
Waterborne emission	benzo(a)pyrene	kg	4.000E+1
Waterborne emission	Cd	kg	2.000E+2
Waterborne emission	chlorobenzenes	kg	1.600E-1
Waterborne emission	chlorophenols	kg	5.600E+0
Waterborne emission	Cr	kg	1.000E+0
Waterborne emission	Cr3+	kg	1.000E+0
Waterborne emission	Cr6+	kg	1.000E+0
Waterborne emission	crude oil	kg	5.000E-2
Waterborne emission	Cu	kg	2.000E+0
Waterborne emission	CxHy	kg	5.000E-2
Waterborne emission	CxHy aliphatic	kg	5.000E-2
Waterborne emission	CxHy aromatic	kg	2.900E-2
Waterborne emission	CxHy chloro	kg	9.400E-4
Waterborne emission	dichloroethane (1,2)	kg	9.400E-4
Waterborne emission	ethylbenzene	kg	2.300E-2
Waterborne emission	fluoranthene	kg	6.200E+0
Waterborne emission	halogen compounds	kg	9.400E-4
Waterborne emission	hexachlorobiphenyl	kg	1.000E+2
Waterborne emission	Hg	kg	5.000E+2
Waterborne emission	Hg-alkyl	kg	5.000E+2
Waterborne emission	methylene chloride	kg	9.400E-4
Waterborne emission	Ni	kg	3.300E-1
Waterborne emission	oil	kg	5.000E-2
Waterborne emission	organic chloro compounds	kg	9.400E-4
Waterborne emission	PAH	kg	6.200E+0
Waterborne emission	Pb	kg	2.000E+0
Waterborne emission	pentachlorophenol	kg	5.600E+0
Waterborne emission	petrol	kg	5.000E-2
Waterborne emission	phenol	kg	5.900E+0
Waterborne emission	polychlorobiphenyls	kg	1.000E+2
Waterborne emission	tetrachloroethane (1,1,2,2)	kg	2.000E-2
Waterborne emission	tetrachloroethene	kg	2.000E-2
Waterborne emission	tetrachloromethane	kg	7.400E-3
Waterborne emission	TOC	kg	6.200E+0
Waterborne emission	trichlorobiphenyl (2,5,2)	kg	1.000E+2
Waterborne emission	trichloromethane	kg	1.700E-1
Waterborne emission	vinylchloride	kg	9.400E-4
Waterborne emission	Zn	kg	3.800E-1

	Milieu-ingreep	Eenheid	Weegfactor
Ecotoxiciteit (bodem)			ECT
Solid emission	arsenic (As)	kg	3.600E+0
Solid emission	cadmium	kg	1.300E+1
Solid emission	cadmium oxide	kg	1.300E+1
Solid emission	chemical waste	kg	5.000E-1
Solid emission	Co	kg	4.200E-1
Solid emission	copper	kg	7.700E-1
Solid emission	Cr	kg	4.200E-1
Solid emission	Cr3+	kg	4.200E-1
Solid emission	Cr6+	kg	4.200E-1
Solid emission	Hg	kg	2.900E+1
Solid emission	LiCrO2	kg	4.200E-1
Solid emission	naphthalene	kg	3.100E-1
Solid emission	nickel	kg	1.700E+0
Solid emission	NiO	kg	1.700E+0
Solid emission	Pb	kg	4.300E-1
Solid emission	phenol	kg	5.300E+0
Solid emission	tetrachloroethene	kg	1.100E+1
Solid emission	toluene	kg	6.300E-1
Solid emission	toxic chemicals	kg	1.000E+0
Solid emission	zinc	kg	2.600E+0
Solid emission	zinc-rich residue	kg	1.300E+0
Solid emission	ZnO	kg	2.600E+0
Solid emission	ZnS	kg	2.600E+0