

MILIEUGERICHTE LEVENSCYCLUSANALYSE VAN STEENWOL ALS SUBSTRAAT IN DE TUINBOUW

HOOFDRAPPORT

N.W. van den Berg
R.M. Lankreijer

Centrum voor Milieukunde
Rijksuniversiteit Leiden
Postbus 9518
2300 RA Leiden

CML rapport 113 - Sectie Stoffen & Producten

Dit rapport kan op de volgende wijze worden besteld:

- telefonisch: 071-277485
- schriftelijk: Bibliotheek CML, Postbus 9518, 2300 RA Leiden, hierbij graag duidelijk naam besteller en verzendadres aangeven.
- per fax: 071-277434

CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Berg, N.W. van den

Milieugerichte levenscyclusanalyse van steenwol als substraat in de tuinbouw : hoofdrapport / N.W. van den Berg, R.M. Lankreijer. - Leiden : Centrum voor Milieukunde. - (CML-rapport, ISSN 1381-1703 ; 113)

Onderzoek in opdracht van Rockwool/Grodan. - Met lit. opg. - Met samenvatting in het Engels.

ISBN 90-5191-083-5

Trefw.: steenwol ; milieu-effectrapportering / glastuinbouw en milieu

Druk: Biologie, Leiden

© Centrum voor Milieukunde, Leiden juli 1994

Summary

A life cycle assessment has been carried out for stone wool producer Rockwool/Grodan at Roermond, the Netherlands, according to the method of "Environmental life cycle assessment for products", by the Centre for Environmental Science, Leiden, the Netherlands (CML). The study has been carried out on the product ExpertPlus, a substrate for the greenhouse growing on which several products are grown, by comparing the one yearly free drain system with more years, recirculation and V-system.

The environmental effects mainly are caused by the use of gas for greenhouse. Therefore, in general the four different growing systems differ few. An exception is formed by the switching from free drain to recirculation: this causes 75% reduction of use of drinking water and nitrification and besides 25% reduction of aquatic toxicity. (The reduction for aquatic toxicity is lower because this one is partly dependent of the growing system and partly dependent of the extraction of energy-carriers.

The scores smell and chemical waste are completely caused by the substrate production and differ a little for the different growing systems.

By comparison of environmental effects per amount of money used in the Dutch situation, the relatively high score for greenhouse effect indicates the growing of tomatoes to be an energy-intensive process. The use of drinking water is extremely high. Nitrification corresponds with the Dutch situation. The other environmental effect scores are relatively low, due to the fact that the "clean" fuel gas is used in a "clean" High Efficiency boiler to heat the greenhouse.

Samenvatting

Voor steenwolproducent Rockwool/Grodan te Roermond is een levenscyclusanalyse uitgevoerd volgens de methode "Milieugerichte levenscyclusanalyse van produkten" van het Centrum voor Milieukunde te Leiden. De studie is uitgevoerd op het produkt Expert Plus, een substraat voor de glastuinbouw waarop diverse produkten geteeld worden, door het systeem éénjarig vrije drainage te vergelijken met meerjarig, recirculatie en V-systeem.

De milieueffecten worden grotendeels veroorzaakt door het gebruik van gas voor het verwarmen van de kas. Hierdoor verschillen de vier teeltsystemen in het algemeen weinig.

Een uitzondering hierop is de overschakeling van vrije drainage op recirculatie: dit zorgt voor 75% reductie van drinkwatergebruik en vermisting en bovendien voor 25% reductie van aquatische toxiciteit. (De reductie van aquatische toxiciteit is lager doordat deze minder afhankelijk is van het teeltsysteem maar meer wordt veroorzaakt tijdens de winning van energiedragers.)

De scores geurvorming en klein chemisch afval worden volledig veroorzaakt door de productie van substraat en verschillen enigszins in de verschillende teeltsystemen.

In de vergelijking van de milieu-effecten per gebruikte gulden met de Nederlandse situatie, geeft het relatief hoge broeikas-effect aan dat het telen van tomaat een energie-intensief proces is. Ook blijkt een bijzonder hoog drinkwater-verbruik. Vermisting komt overeen met de Nederlandse situatie. Andere milieu-effecten zijn relatief laag doordat voor de verwarming van de kas de "schone" brandstof gas wordt gebruikt in een "schone" Hoog Rendement ketel.

Inhoud

Summary	3
Samenvatting	3
Hoofdstuk 1 Doelbepaling	7
1.1 Inleiding	7
1.2 Bepaling van de toepassing	7
1.3 Vaststelling van de diepgang van de studie	7
1.4 Definitie van het onderwerp van de studie	8
Hoofdstuk 2 Inventarisatie	10
2.1 Opstellen van de procesboom	10
2.1.1 Beschrijving procesboom	
2.1.2 Grens tussen productsysteem en milieu	
2.1.3 Grens tussen wel en niet relevante processen	
2.1.4 Grens tussen het productsysteem en andere productsystemen	
2.2 Invulling van de procesgegevens	12
2.3 Toepassing van de toerekeningsregels	12
2.4 Opstelling van de ingreep tabel	14
Hoofdstuk 3 Classificatie	15
3.1 Inleiding	15
3.2 Selectie en definitie van de probleemtypen	15
3.3 Milieuprofielen	18
3.3.1 Resultaten	
3.3.2 Oorzaken	
Hoofdstuk 4 Conclusies	25
Hoofdstuk 5 Literatuur	26
Appendix A Uitgangspunten teeltwijzen	*
Appendix B Toelichting procesdataformulier	*
Appendix C Economische normalisatie	*
Appendix D Gedetailleerde procesbeschrijving	**
Appendix E Ingreep tabel	**
Appendix F Milieuprofiel	**

* In aparte appendices

** In aparte vertrouwelijke appendices

Hoofdstuk 1 Doelbepaling

1.1 Inleiding

Dit hoofdstuk bevat de doelbepaling van het project *Globale Levenscyclusanalyse steenwol*, uit te voeren bij steenwolproducent Rockwool/Grodan B.V. te Roermond door het *Centrum voor Milieukunde Leiden*, het CML. Dit project is uitgevoerd aan de hand van de *Handleiding Milieugerichte Levenscyclusanalyses van produkten* (Heijungs, 1992).

Deze doelbepaling omvat als eerste de bepaling van de toepassing van het onderzoek, met een uitgebreide omschrijving van de doelstelling, de doelgroep en de initiatiefnemer. Hierna volgt een omschrijving van de diepgang van de studie, waarin aangegeven wordt welke (soort) processen wel en niet worden meegenomen in de beoordeling. Het laatste onderdeel van deze doelbepaling is de definitie van het onderwerp van de studie, een exacte omschrijving van het produkt en de hoeveelheden waarop de resultaten zijn gebaseerd.

1.2 Bepaling van de toepassing

Vastlegging doelstelling

Bij steenwolproducent Rockwool/Grodan B.V. is een LevensCyclusAnalyse van het produkt steenwol uitgevoerd voor de toepassing als substraat voor de kassenteelt. Doel van dit project is om, "middels een globale milieugerichte LevensCyclusAnalyse inzicht te krijgen in de beïnvloeding van het milieu door de verschillende activiteiten, waar Rockwool/Grodan direct of indirect bij is betrokken" (citaat projectvoorstel). Deze rapportage maakt overigens deel uit van een omvangrijkere studie waarin ook de toepassing van steenwol als isolatiemateriaal is geanalyseerd.

Vastlegging doelgroep

Op basis van dit rapport zal Rockwool/Grodan informatie kunnen verstrekken over de milieueffecten van het produkt substraat aan geïnteresseerde afnemers.

Vastlegging initiatiefnemer

Dit project wordt uitgevoerd door het CML in opdracht van Rockwool/Grodan. De gebruikte informatie (milieu-data) is aangeleverd door Rockwool/Grodan voor wat betreft het productieproces en is door het CML zo goed mogelijk gecheckt. Overige milieu informatie is verzameld door het CML, deels afkomstig uit vorige studies, deels uit de literatuur en deels van het Proefstation voor Tuinbouw onder Glas te Naaldwijk. Het gehele project is begroot op ± 480 uur.

1.3 Vaststelling van de diepgang van de studie

Er zal een globale LevensCyclusAnalyse gemaakt worden voor het produkt steenwol. Hiertoe worden als eerste alle milieu-ingrepen van de steenwol productie in kaart gebracht en geclassificeerd naar hun relatieve belang. Er wordt een "van de wieg tot het graf" procesboom opgesteld. Processen aan de "wieg" betreffen het winnen van grondstoffen voor het gebruik van energie, voor het produkt en voor verpakkingsmateriaal en coating.

Processen aan het "graf" zijn bijvoorbeeld de verwerking van alle afvalstromen en de recycling van substraat.

Hierbij worden de belangrijkste processen geïdentificeerd en waar nodig onderverdeeld in hoofd- en nevenprocessen. Processen die niet worden meegenomen zijn het produceren van kapitaalgoederen als gebouwen, vrachtwagens of productieapparatuur.

1.4 Definitie van het onderwerp van de studie

Ruimtelijke representativiteit

De resultaten van dit onderzoek zijn representatief voor de productie en gebruik van het produkt *Grodan substraat 618700 / ExpertPlus* in Nederland.

Temporele representativiteit

De gegevens van deze studie worden geacht representatief te zijn voor "het begin van de jaren '90." De gegevens zijn verzameld in 1994 en gebaseerd op 1992 en 1993.

Functionele eenheid

De studie is uitgevoerd met als functionele eenheid het telen van 1 kg tomaat op substraat, gedurende 3 teeltseizoenen, waarbij 4 gevallen worden doorgerekend:

- 1• substraat 1 jarig, 4 rijen, vrije drainage;
- 2• substraat meerjarig, 4 rijen, vrije drainage;
- 3• substraat 1 jarig, 4 rijen, recirculatie;
- 4• substraat 1 jarig, V-systeem, recirculatie.

Producten

Het telen op substraat wordt beschouwd middels het produkt *Grodan ExpertPlus*. Dit wordt vervaardigd uit het halffabrikaat *618700*. Dit produkt is het meest courante in zijn soort. Overige producten worden geacht hiermee vergelijkbaar te zijn. (Voor Grodan kan gesteld worden dat 25 massaprocent van de productie het meest lijkt op het halffabrikaat *618700*.)

Uitgangspunten en aannamen

De verschillende teeltsystemen vertonen verschillen in uitgangspunten, wat betreft gebruik van kasoppervlak (=gasverbruik voor verwarming), gasverbruik voor stomen en toediening van water en kunstmest. Het gebruik van pesticiden zal verschillen per teeltwijze, maar wegens het ontbreken van gegevens hierover is dit niet meegenomen. De uitgangspunten zijn afkomstig van zowel Rockwool/Grodan als PTGN en bijgevoegd in Appendix A en deels herhaald in Tabel 1.

Tabel 1 Enkele uitgangspunten die in studie zijn gebruikt: opbrengst, hoeveelheid substraat en gasverbruik voor zowel éénjarig als meerjarig. Bron: Rockwool/Grodan, PTG, overige uitgangspunten staan vermeld in Appendix A.

	eenheid	éénjarig vrije drain.	meerjarig vrije drain.	éénjarig recirculatie	éénj.V-syst recirculatie
opbrengst tomaat	kg/m ² /jaar	47.6	46.3	47.6	47.6
hoeveelheid substraat	m ³ /hectare/ 3 seizoenen	409	169	409	302
gasverbruik kasverwarming	m ³ /m ² /jaar	50.1	49.1	50.1	50.1
drinkwatergebruik	m ³ /hectare/jaar	4000	4000	1000	1000
gasverbruik stomen	aantal keer x m ³ /m ² /keer	recycling	2 x 0.17	recycling	recycling

- Voor watergebruik geldt dat gemiddeld 6000 m³ per jaar regenwater wordt gebruikt, wat aangevuld wordt met drinkwater (1000 m³ bij recirculatie, 4000 m³ bij vrije drainage).
- Voor kunstmest geldt dat de emissies zijn beschouwd voor zover het N, P, K, Ca, Mg en S betreft, de productie alleen voor N, P en K. Er kan overigens aangenomen worden dat de hoeveelheid pesticiden en niet beschouwde kunstmest per kg tomaat bij recirculatie lager ligt dan bij vrije drainage door de lagere toediening per hectare.
- De recycling van gebruikte steenwol is integraal opgenomen bij de steenwolproductie. Bij de éénjarige systemen is dit telkens meegenomen.
- Het produkt substraat is verpakt in folie. Ook deze is meegenomen.
- Het bouwen c.q. produceren van de kas en leidingsystemen er om heen is in deze studie niet beschouwd, bovendien is het slechts het verbouwen van tomaat beschouwd, zonder transport naar de veiling en zonder consumptie.
- In deze studie zal blijken dat veel milieu-effecten samenhangen met gebruik van aardgas om de kas te verwarmen. De gegevens hiervoor gebruikt zijn afkomstig uit het BUWAL rapport, vanwege de hoge mate van onderlinge consistentie van deze gegevens en de brede acceptatie ervan. Gegevens voor electriciteitsopwekking zijn representatief voor de situatie in Europa. Deze bron geeft echter nogal hoge cijfers voor de emissie van SO₂ tijdens electriciteits productie, hetgeen wellicht niet meer reëel is in deze tijd van ontzwavelingsmaatregelen in Nederland. Samengevat: bij de keuze tussen consistent model en actuele individuele cijfers is voor het consistente model en de brede acceptatie gekozen.

Hoofdstuk 2 Inventarisatie

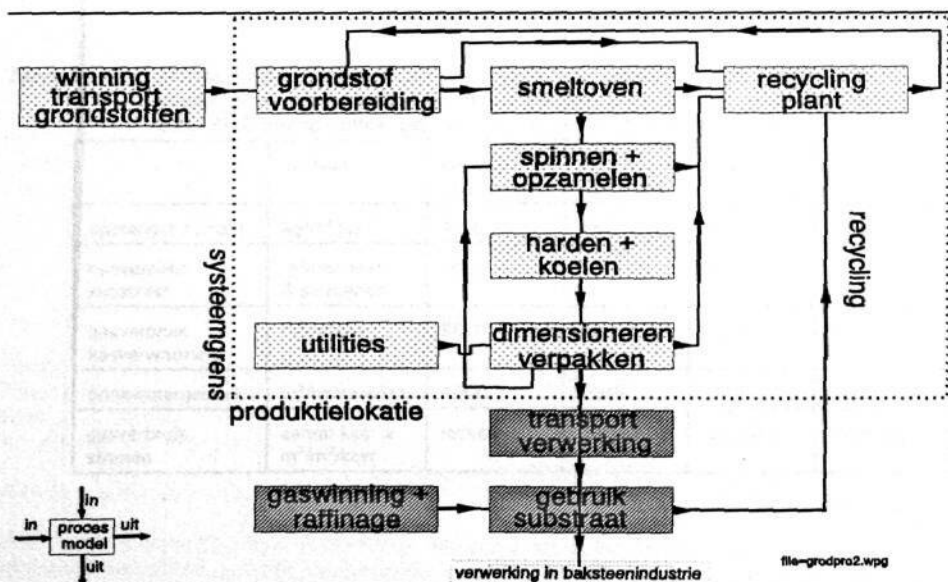
De inventarisatie geeft een overzicht van de interacties tussen het produkt en het milieu gedurende de levenscyclus. De levenscyclus van het produkt, welke alle processen omvat die nodig zijn voor het vervullen van de functie van het produkt van de wieg tot het graf, wordt het productsysteem genoemd. De inventarisatie bestaat uit vier verschillende stappen, welke hieronder kort zullen worden omschreven en in de loop van het hoofdstuk nader wordt uitgelegd.

Als eerste wordt de procesboom opgesteld, beschreven in paragraaf 2.1. Hierin wordt duidelijk hoe de diverse processen gekoppeld zijn. Vervolgens wordt in paragraaf 2.2 beschreven welke procesgegevens benodigd zijn en hoe deze zijn ingevuld. Uit het productieproces ontstaan naast het primaire produkt steenwol ook nog andere produkten, zowel afval als waardevolle produkten zoals grondstofzeefsel en zwavelzuur. De verdeling van de milieueffecten veroorzaakt door het complete proces over de verschillende produkten, de toerekening, wordt beschreven in paragraaf 2.3. Tot slot wordt in paragraaf 2.4 de inventarisatie voor het totale productsysteem, met andere woorden alle milieu-inputs en -outputs, getoond als resultaat van CML's "in-house" computerprogramma SIMA2.

2.1 Opstellen van de procesboom

Om de levenscyclus van de in de doelbepaling gekozen produkten vast te stellen, wordt eerst de procesboom opgesteld. De levenscyclus is opgebouwd uit economische processen, welke met elkaar verbonden zijn: iedere in- en uitstroom van een proces is rechtstreeks verbonden met het milieu of met een ander proces.

In Figuur 2 is een overzicht gegeven van de processen die gerelateerd zijn aan het gebruik van steenwol als substraat. In de figuur is bovendien aangegeven welke processen plaatsvinden op de produktie-lokatie. Een meer gedetailleerde beschrijving is te vinden in appendix D. In het volgende worden aan de hand van de figuur de verschillende onderdelen kort besproken.



Figuur 2 De procesboom voor steenwol vanaf grondstofwinning tot en met recycling. De gestippelde box begrenst de steenwolproductie. Na gebruik wordt het substraat gerecycled of verwerkt in de baksteenindustrie.

2.1.1 Beschrijving procesboom

De productie van steenwol start met het winnen van de grondstoffen: basalt, diabas, kalk, cementgrondstoffen en kolen (voor cokes). Deze worden getransporteerd (de productie van cokes vergt nog enige andere bewerkingen) en op de lokatie geschikt gemaakt voor inzet. Het hierbij ontstane residu wordt extern afgezet waar het cokes betreft en tegelijk met andere afvalstoffen in de recyclingplant tot briketten omgezet waar het basalt en diabas betreft. Deze grondstoffen worden in een oven gesmolten. Bij dit smeltproces ontstaan twee produkten: vloeibaar ijzer, dat als schroot verkocht wordt en de smelt.

De smelt komt terecht op een spinmachine, die bestaat uit een aantal snel roterende wielen, waarmee uit de smelt vezels worden geproduceerd. Deze vezels worden in een spinkamer opgezameld en hier ontstaat een steenwoldeken. Tijdens het spinnen worden hars en andere additieven toegevoegd om het produkt specifieke eigenschappen te geven.

Tijdens het transport van het produkt op de produktielijn ontstaat kantstrookafval dat teruggevoerd wordt naar de spinkamer. Het overige afval wordt in de recyclingplant geschikt gemaakt voor hergebruik als grondstof.

Het produkt ondergaat na de spinkamer enige nabewerkingen. Het produkt wordt eerst gehard en op dikte gebracht. Vervolgens vindt koeling en verdere dimensionering plaats. Vervolgens wordt het uitgeharde produkt in platen gezaagd, waarna het verpakt wordt in polyethyleen folie. Afgekeurd produkt en zaagstof worden als afvalstof hergebruikt in de recyclingplant. Na het verpakken wordt het produkt getransporteerd naar de tuinder waar het als substraat dient om produkten op te telen.

2.1.2 Grens tussen productsysteem en milieu

De procesboom dient een vertaling op te leveren van economische instromen en uitstromen naar milieuinstromen en -uitstromen. Het productsysteem begint daarom met het winnen van de grondstoffen uit het milieu. Het einde van het productsysteem wordt gevormd door de recycling van gebruikt substraat, in de productie of als grondstof voor de baksteenindustrie.

2.1.3 Grens tussen wel en niet relevante processen

Bij het opstellen van de procesboom ontstaat het probleem van eindeloze regressie: de vrachtwagen waarmee getransporteerd wordt is grotendeels gemaakt van staal dat ooit ook met behulp van vrachtwagens is getransporteerd. Om het productsysteem overzichtelijk te houden zullen afbakeningen moeten worden gemaakt.

In deze studie is het productsysteem opgebouwd uit het productieproces en aangevuld met deelprocessen voor winning van grondstoffen, transport en gebruik en afdanking van het eindprodukt. Van transport zijn de emissies die optreden door de verbrandingsmotoren en de raffinage van ruwe olie tot brandstof beschouwd. De productie van transportmiddelen en produktiemiddelen is niet meegenomen. In het algemeen blijken deze namelijk geen groot aandeel te hebben in de totale milieubelasting van een produkt. Van de additieven welke tijdens het productieproces worden toegevoegd zijn de productie van binder en cement meegenomen.

2.1.4 Grens tussen het productsysteem en andere productsystemen

Naast substraat ontstaan tijdens het productieproces enkele andere materialen met een lage economische waarde en geringe massa, zoals ijzerschroot en zwavelzuur. Vanwege de economische waarde worden deze materialen niet beschouwd als afvalmateriaal maar als verhandelbaar produkt. De procesboom wordt hier afgekapt, de verantwoording voor de verdere levenscyclus van deze produkten wordt gelegd bij de volgende gebruiker. Zie voor de beschrijving van deze produkten ook paragraaf 2.3.

2.2 Invulling van de procesgegevens

Voor alle individuele deelprocessen zijn de gegevens verzameld en verwerkt. Om te verduidelijken welke gegevens gebruikt zijn en op welke manier deze verwerkt zijn, is in Figuur 3 het proces-data-formulier (*format*) getoond. De verschillende componenten van het proces-data-formulier worden nader toegelicht in Appendix B. De numerieke waarden, geordend volgens de verdeling op het proces-data-formulier, zijn te vinden in appendix D.

De gebruikte informatie (milieu-data) is deels aangeleverd door Rockwool/Grodan, deels door het CML (uit de literatuur en overige studies). Bij elk deelproces is steeds de representativiteit en kwaliteit genoemd. De gegevens voor de productie van steenwol zijn afkomstig van Rockwool/Grodan en representatief voor een moderne produktielijn van steenwol in Europa. Overige gegevens, zoals de winning en bewerking van aardgas en het genereren van elektriciteit, zijn door het CML verkregen uit het BUWAL rapport (Habersatter 1991). Gegevens voor grondstofwinning zijn afkomstig van andere studies naar de milieueffecten van steenwol (VITO, Ceuterick 1993), voor kunstmest- en gasgebruik zijn gegevens gebruikt van het Proefstation voor Tuinbouw onder glas (PTG), afkomstig van het IKC, productie van kunstmest is uit het SPIN rapport verkregen.

2.3 Toepassing van de toerekeningsregels

Uit het productieproces ontstaan naast het primaire produkt ook nog andere produkten, zowel afval als waardevolle produkten. De verdeling van de milieueffecten veroorzaakt door het complete proces over de verschillende produkten wordt toerekening genoemd. Genoemde toerekening wordt in het algemeen ofwel naar massa-aandeel ofwel naar economisch aandeel uitgevoerd.

Naast substraat ontstaan ook cokeszeefsel, zwavelzuur en ijzerschroot, welke extern afgezet worden. Deze produkten hebben echter een klein aandeel in de totale productie, zowel voor wat betreft de massa als het economische aandeel. Daarom treedt in deze studie steenwol geen vermindering van milieueffecten op, ondanks het feit dat er meerdere produkten geproduceerd worden.

main page

format LCA process data

Centre of Environmental Science
Leiden University, The Netherlands
version 7.2 ; 1993 November 30

see also *Environmental life cycle assessment of products, Guide & Backgrounds - October 1992*

1 format

- 1.1 name or institute
- 1.2 date (YY MM DD)
- 1.3 availability of data: public/confidential
- 1.4 page: 1 of (number of pages)
- 1.5 comment (about 1 "format") . . none / see page...

2 process

- 2.1 name or code
- 2.2 representativeness
 - scale: global / continental / national / local / company, namely
 - dating: historical processes / 60's / 70's / 80's / 90's / 19.. / future processes
 - duration: (hr)
 - capacity: (.....per year)
 - status: empirical measurements / best practice means / models / allocated / theoretical estimations / secondary analysis of literature / else:
 - allocated process no/yes;
 - allocation basis: mass/ economic value/ else:
- 2.3 quality
 - clarity: including / excluding calamities, transport, other
 - accuracy: mass balance / energy balance / independent sources / not verified
 - completeness of environmental input: lacking / unknown / zero / complete
 - completeness of environmental output: lacking / unknown / zero / complete
 - completeness of economic input: lacking / unknown / zero / complete
 - completeness of economic input: lacking / unknown / zero / complete
- 2.4 sources
 - nature of source: company / independent body / secondary checked / not checked / namely
 - age of source: (yr)
- 2.5 overall assessment
- 2.6 comment (about 2 "process") . none / see page...

3 economic input

- A inputs with costs for this process
 - 3.1 goods none / unknown / see page...
 - 3.2 services none / unknown / see page...
 - 3.3 materials none / unknown / see page...
 - 3.4 energy none / unknown / see page...
- B inputs with proceeds for this process
- 3.5 waste to process: . . none / unknown / see page...

4 environmental input

- 4.1 resources
 - 4.1.1 abiotic resources . none / unknown / see page...
 - 4.1.2 biotic resources . none / unknown / see page...
 - 4.1.3 energy carriers . . none / unknown / see page...
- 4.2 space none / unknown / see page...

5 economic output

- A outputs with proceeds for this process
 - 5.1 goods none / unknown / see page...
 - 5.2 services none / unknown / see page...
 - 5.3 materials none / unknown / see page...
 - 5.4 energy none / unknown / see page...
- B outputs with costs for this process
- 5.5 waste to process: . . none / unknown / see page...

6 environmental output

- 6.1 emissions to air . . . none / unknown / see page...
- 6.2 emissions to water . none / unknown / see page...
- 6.3 emissions to soil . . none / unknown / see page...
- 6.4 radiation none / unknown / see page...
- 6.5 sound none / unknown / see page...
- 6.6.1 heat to air none / unknown / see page...
- 6.6.2 heat to water . . . none / unknown / see page...
- 6.7 light none / unknown / see page...
- 6.8 calamities none / unknown / see page...

7 balances none / unknown / see page...

- 7.1 mass balancing item
 - ... kg input (3+4) ratio out/in:...
 - ... kg output (5+6)
- 7.2 energy balancing item
 - ...MJ input (3+4) ratio out/in:...
 - ... MJ output (5+6)

8 comments/

- other interventions . none / unknown / see page...

Figuur 3 Het proces-data-formulier, het format. Met behulp van dit formulier zijn alle procesgegevens verzameld. Een nadere uitleg is te vinden in appendix B, de numerieke waarden zijn te vinden in appendix D.

2.4 Opstelling van de ingreeptabel.

Nadat alle processen voor zover mogelijk compleet geïnventariseerd zijn, wordt het mogelijk om met behulp van CML's "in-house" computer simulatie programma SIMA2 de gehele procesboom door te rekenen. De verschillende deelprocessen worden numeriek gekoppeld, zodat de totale hoeveelheid milieuingrepen voor de gehele functionele eenheid berekend kan worden: de ingreeptabel.

Naast alle milieuingrepen worden hierin bovendien vermeld welke processen onvolledig zijn of ontbreken. Ook wordt aangegeven welke afvalverwerkingsprocessen ontbreken.

De volledige ingreeptabel voor de functionele eenheid is te vinden in appendix E. Ter verduidelijking is een ingreeptabel voor de functionele eenheid "het telen van 500 ton tomaat, verdeeld over 3 teeltseizoenen" weergegeven in Figuur 4 op deze bladzijde. Deze heeft betrekking op het telen op volle grond en niet op substraat omdat de substraat-gegevens vertrouwelijk worden behandeld.

Inventory matrix for tomatoes 500 tons full ground

RESOURCES			WATER EMISSIONS		
1	2.167e+06 m ³	water	23	0.4387 kg	anorg subst ²
2	3.146e+04 kg	oil	24	0.14 kg	non chlor subst ²
3	3233 kg	coal	25	0.004667 kg	phenol
4	3197 kg	brown coal	26	428.3 kg	S ²
5	0.2827 kg	uranium	27	873.3 kg	N
6	6.283e+05 kg	aardgas	28	165 kg	P
7	3.611 kg	stone salt ²	29	366.7 kg	Mg
AIR EMISSIONS			30	801.7 kg	K
8	350.2 kg	CO	31	303.3 kg	Ca
9	1.807e+04 kg	CxHy	32	1.715 kg	susp solids ²
10	2519 kg	NOx	33	487.2 kg	solved solids ²
11	1352 kg	SO ₂	34	0.0198 kg	NH ₃
12	19.87 kg	dust	35	1.715 kg	BOD
13	1.918 kg	others ²	36	0.5563 kg	COD
14	1.268 kg	aldehydes	37	0.0005418 kg	Cl-
15	8.016 kg	NH ₃	38	0.04267 kg	F-
16	1.517e+06 kg	CO ₂	39	8.234e-05 kg	Fe
17	1772 kg	N ₂ O	40	0.006765 kg	sodium
18	0.000224 kg	F-	41	0.01011 kg	NO ₃ -
19	5.478e-07 kg	Cl ₂	42	27.84 kg	oil
20	1.03e-06 kg	Hg	43	0.00902 kg	sulphate
21	0.01705 kg	F ₂	44	0.00126 kg	anorg.solv.sol. ²
22	8.267e-06 kg	P ₂ O ₅	45	0.0002326 kg	Hg
SOIL EMISSIONS			46	0.00155 kg	As
none			47	0.003978 kg	Cd
OTHER ENVIRONMENTAL OUTPUT			48	0.002325 kg	Cr
55	2.373e+06 MJ	waste heat ²	49	0.01085 kg	Cu
			50	45.98 kg	fluor
			51	0.00775 kg	Pb
			52	0.00775 kg	Ni
			53	0.004702 kg	Zn
			54	34.62 kg	P ₂ O ₅

² substances not in substance table

Figuur 4 Een voorbeeld van een ingreeptabel: de milieueffecten, veroorzaakt door het telen van 500 ton tomaat op volle grond gedurende 3 seizoenen.

Hoofdstuk 3 Classificatie

3.1 Inleiding

Door het inventariseren van alle voor de functionele eenheid benodigde deelprocessen, zijn alle milieuingrepen bekend in de vorm van emissies en onttrekkingen. Deze milieuingrepen zullen hun effect hebben op het milieu. Met behulp van modellen worden de milieuingrepen vertaald naar hun respectievelijke aandelen in milieuproblemen. Dit wordt weergegeven met behulp van verschillende effectscores, die tezamen het milieuprofiel weergeven. Met andere woorden: in hoeverre de functionele eenheid middels milieuingrepen bijdragen levert aan bepaalde milieuproblemen.

Deze aggregatie wordt classificatie genoemd. Het doel van de classificatie is om het grote aantal getallen te reduceren tot ongeveer 10 verschillende scores en zodoende het milieueffect van de functionele eenheid aanschouwelijker te maken. Deze scores kunnen bovendien afgezet worden tegen de jaarlijkse situatie in Nederland (normalisatie). Ook kan het aandeel van de functionele eenheid in de Nederlandse situatie afgezet worden tegen het aandeel in het Bruto Nationaal Produkt.

In dit hoofdstuk zal als eerste de keuze van de probleemttypen behandeld worden, samen met een korte definitie van de classificatiefactoren in paragraaf 3.2. Vervolgens zal de opstelling van het milieuprofiel worden gegeven in paragraaf 3.3, zowel voor de absolute scores als voor de normalisatie ten opzichte van de Nederlandse situatie. De economische normalisatie is te vinden in Appendix C, de complete resultaten worden gegeven in appendix F. De conclusies die naar aanleiding van deze studie getrokken kunnen worden zijn beschreven in hoofdstuk 4.

3.2 Selectie en definitie van de probleemttypen

In deze paragraaf zullen de verschillende probleemttypen worden geselecteerd. Een korte omschrijving wordt steeds toegevoegd. De probleemttypen kunnen worden verdeeld in uitputting, verontreiniging, aantasting en overig.

UITPUTTING

De effectscore uitputting heeft betrekking op het uitputten van voorraden, doordat de wereldwijde onttrekking van voorraden vele malen groter is dan het ontstaan ervan.

Er zijn twee soorten uitputting te onderscheiden. Als eerste de abiotische uitputting, uitputting van levenloze materialen zoals fossiele brandstoffen, ertsen en gesteentes. Als tweede de biotische uitputting, het verminderen van de hoeveelheid levende materie of dieren zoals flora en fauna.

Voor het produkt steenwol zal uitputting slechts relevant zijn met betrekking tot abiotische uitputting, het biotische produkt tomaat wordt namelijk telkens opnieuw verbouwd, overige biotische materialen worden niet gebruikt tijdens de produktie van steenwol. De abiotische uitputting wordt gedefinieerd als het quotiënt van gebruik en voorraad van elke stof en vormt dus een probleem voor stoffen die binnen een termijn van 100 jaar "op" dreigen te raken.

De uitputtingsscore wordt voornamelijk veroorzaakt door het gebruik van fossiele energiedragers. Van grondstoffen voor het productieproces zoals kalk, diabas, basalt en cementgrondstoffen is de voorraad groot genoeg.

VERONTREINIGING

De effectscores die onder verontreiniging gerangschikt kunnen worden, worden allen veroorzaakt door emissies, welke ontwijken gedurende de levensfasen van het produkt.

- Voor die stoffen die bijdragen aan de versterking van het broeikas effect, wordt gebruik gemaakt van het model zoals opgesteld door het IPCC. Dit model is gebaseerd op de GWP, de Global Warming Potential. Met behulp hiervan worden broeikas stoffen omgerekend naar hun CO₂ equivalent, met andere woorden: hoeveel CO₂ evenveel broeikas effect zou veroorzaken als de functionele eenheid doet. De score wordt weergegeven in kg CO₂.
- Voor de classificatie van toxische stoffen bestaan de scores humane toxiciteit, aquatische ecotoxiciteit en terrestrische ecotoxiciteit.
 - Humane toxiciteit wordt gedefinieerd als de hoeveelheid menselijk lichaamsgewicht dat juist tot aan de toxicologisch aanvaardbare grens is blootgesteld. De score wordt weergegeven in kg lichaamsgewicht.
 - Aquatische ecotoxiciteit wordt gedefinieerd als de hoeveelheid verontreinigd water (in m³) die door de functionele eenheid wordt veroorzaakt.
 - Terrestrische ecotoxiciteit wordt gedefinieerd als de hoeveelheid verontreinigde bodem (in kg) die door de functionele eenheid wordt veroorzaakt. In deze studie treedt geen terrestrische ecotoxiciteit op, van emissie tijdens de kassenteelt is aangenomen dat deze naar water ontwijken.
- Voor verzurende stoffen bestaat een Acidification Potential (verzurend potentieel). Met behulp hiervan worden verzurende stoffen omgerekend naar hun SO₂ equivalent, met andere woorden: hoeveel SO₂ evenveel verzuring zou veroorzaken als de functionele eenheid doet. De score wordt weergegeven in kg SO₂.
- Voor vermestende stoffen bestaat een Nutrifcation Potential (vermestend potentieel). Met behulp hiervan worden vermestende stoffen omgerekend naar hun PO₄³⁻ equivalent, met andere woorden: hoeveel PO₄³⁻ evenveel vermesting zou veroorzaken als de functionele eenheid doet. De score wordt weergegeven in kg PO₄³⁻.
- Voor stoffen die bijdragen aan fotochemische oxydantvorming bestaat een photochemical oxydant creation potential (oxydant vormend potentieel). Met behulp hiervan worden deze stoffen omgerekend naar hun ethyleen (C₂H₄) equivalent, met andere woorden: hoeveel ethyleen evenveel oxydant zou veroorzaken als de functionele eenheid doet. De score wordt weergegeven in kg C₂H₄.
- Voor stoffen die bijdragen aan de aantasting van de ozonlaag bestaat een ozone depletion potential (ozon aantasting potentieel). Met behulp hiervan worden deze stoffen omgerekend naar hun CFK-11 equivalent, met andere woorden: hoeveel CFK-11 evenveel ozon zou aantasten als de functionele eenheid doet. De score wordt weergegeven in kg CFK-11. Uit de inventarisatie is gebleken dat er gedurende de levenscyclus geen ozon aantastende stoffen vrijkomen, zodat deze score in deze studie niet zal worden meegenomen.
- Voor stank wordt met behulp van geurdrempels de emissie naar lucht omgerekend tot het volume lucht dat tot aan de geurdrempel verontreinigd is. De score wordt weergegeven in m³ verontreinigde lucht. Overigens zijn voor geur de gegevens vaak zeer minimaal en moeten met voorzichtigheid geïnterpreteerd worden.

AANTASTING

Onder aantasting wordt verstaan de aantasting van ecosystemen of landschapswaarden. Omdat hiervoor geen kwantitatieve beoordelingen voor bestaan wordt aantasting niet beschouwd in deze studie.

OVERIG

Indien andere milieueffecten dan hierboven geschetst belangrijk worden geacht, kan hier aandacht aan besteed worden. Drie mogelijk relevante effecten zijn de volgende:

• *Op dit moment zijn er geen betrouwbare cijfers voor afvalverwerking voorradig. Het ontstaan van afval, voor wat betreft klein chemisch afval, wordt zolang als milieuthema beschouwd. Dit betekent overigens dat de emissies die bij de verwerking van chemisch afval vrij komen, in deze studie niet zijn geïnventariseerd en eveneens niet geëvalueerd zijn.*

• *In de toekomst kan wellicht de drinkwatervoorziening van Nederland met problemen te kampen krijgen. Daarom is het milieuthema verdroging gekwantificeerd door de hoeveelheid drinkwater, gebruikt door de functionele eenheid, te vergelijken met de totale drinkwaterconsumptie in Nederland.*

• *Tijdens de verwerking van steenwol kan emissie van vezels en stofdeeltjes optreden. Deze emissies zijn in deze studie niet gekwantificeerd. Emissies van vezels op de werkplek is namelijk met name een zaak van arbeidsomstandigheden en niet van LCA. Bovendien zijn deze eventuele emissies niet te classificeren met de bestaande stoffenlijst.*

RESUMÉ

In Tabel 2 worden de effectscores die in deze studie beschouwd zijn, getoond. Ten behoeve van de normalisatie zijn ook de absolute scores per jaar voor zowel de wereldwijde als de Nederlandse emissies en onttrekkingen hierin vermeld. Bron: (Guinée, 1993). Deze cijfers zijn gebaseerd op de Nederlandse situatie. Omdat het Bruto Nationaal Produkt van Nederland ongeveer 100 x zo hoog is als dat van de wereld, wordt aangenomen dat ook de milieuscores van Nederland 100 x zo hoog zijn als die van de wereld.

Tabel 2

De in deze studie beschouwde effectscores. De getallen representeren de geëvalueerde scores voor zowel de wereldwijde als de Nederlandse jaarlijkse emissies en onttrekkingen. Bron: (Guinée, 1993).

omschrijving	eenheid	wereld	Nederland
humane toxiciteit	kg•10 ⁹	576	5.76
abiotische uitputting	-	1.13	0.0113
aquatische toxiciteit	m ³ •10 ¹²	908	9.08
verzuring	kg•10 ⁹	286	2.86
vermesting	kg•10 ⁹	74.8	0.748
broeikaseneffect	kg•10 ¹²	37.7	0.377
smogvorming	kg•10 ⁹	3.74	0.0374
geurvorming	m ³ •10 ¹⁵	628	6.28
klein chemisch afval	kg•10 ⁹	niet bekend	0.94
drinkwaterverbruik	m ³ •10 ⁹	niet bekend	1.292

3.3 Milieuprofielen

Aan de hand van de inventarisatie, weergegeven in hoofdstuk 2, kan nu voor de in paragraaf 3.2 genoemde effectscores de classificatie uitgevoerd worden. Dit gebeurt met behulp van de door het CML bepaalde classificatiefactoren, weergegeven in Heijungs, 1992. De milieuingreep wordt vermenigvuldigd met zijn classificatiescore. De uitkomst hiervan draagt bij tot het milieuprofiel van de functionele eenheid. Een voorbeeld is te vinden in het kader op deze bladzijde.

Het milieuprofiel wordt berekend uit de geclassificeerde scores van de diverse processen. Elke milieuingreep (een emissie of onttrekking) heeft (Heijungs, 1992) een classificatiewaarde meegekregen. Als voorbeeld berekenen we de hoeveelheid verzuring die veroorzaakt wordt door het verbranden van diesel in een vrachtwagenmotor.

De verzurende emissies die bij het verbranden van 1 kg diesel vrij komen zijn: 52 gram NO_x en 4 gram SO_2 . De hierbij behorende verzurende scores zijn respectievelijk 0.13 kg/kg en 1 kg/kg. De score voor verzuring bij het proces "het verbranden van 1 kg diesel" is dus:

$0.052 \cdot 0.13 + 0.004 \cdot 1 = 0.0108$ kg Acidification Potential per kg diesel.

3.3.1 Resultaten

Als eerste worden in Tabel 3 de classificatieresultaten weergegeven voor het telen van 1 kg tomaten gedurende 3 seizoenen voor de 4 verschillende systemen: éénjarig / vrije drainage, meerjarig / vrije drainage, éénjarig recirculatie en éénjarig / V-systeem / recirculatie.

Vervolgens wordt in Tabel 4 dezelfde vergelijking gemaakt, maar dan weergegeven wat het aandeel is in de geclassificeerde jaar-emissies van Nederland. (Hiertoe zijn de classificatiescores uit Tabel 3 gedeeld door de jaarscores voor Nederland uit Tabel 2. Strikt genomen zou ook door een factor drie gedeeld moeten worden omdat de functionele eenheid drie jaar beslaat. Om het vergelijken te vergemakkelijken is dit NIET gebeurd.)

Tabel 3 *Classificatie tabel voor het telen van 1 kg tomaten gedurende drie teeltseizoenen met verschillende systemen. Scores zijn ABSOLUTE WAARDEN.*

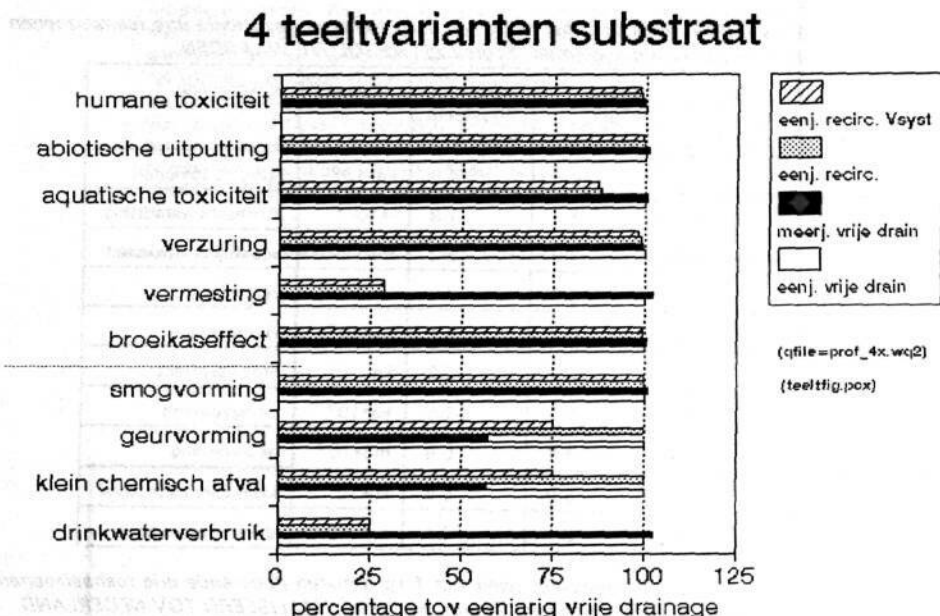
1jarig 4rijen vrije drainage	meerjarig 4rijen vrije drainage	1jarig 4rijen recirculatie	1jarig V-systeem recirculatie	eenheid	omschrijving
4.6	4.6	4.5	4.5	kg•10 ⁻³	humane toxiciteit
1.3	1.3	1.3	1.3	•10 ⁻¹⁴	abiotische uitputting
3.8	3.8	3.3	3.3	m3	aquatische toxiciteit
4.0	3.9	3.9	3.9	kg•10 ⁻³	verzuring
2.3	2.3	0.7	0.7	kg•10 ⁻³	vermesting
2.2	2.2	2.2	2.2	kg	broeikaseneffect
1.0	1.0	1.0	1.0	kg•10 ⁻²	smogvorming
7.7	4.4	7.7	5.8	m3•10 ⁻²	geurvorming
8.8	5.0	8.8	6.6	kg•10 ⁻⁶	klein chemisch afval
8.4	8.6	2.1	2.1	m3•10 ⁻³	drinkwaterverbruik

Tabel 4 *Classificatie tabel voor het telen van 1 kg tomaten gedurende drie teeltseizoenen met verschillende systemen. Scores zijn GENORMALISEERD TOV NEDERLAND.*

1jarig 4rijen vrije drainage	meerjarig 4rijen vrije drainage	1jarig 4rijen recirculatie	1jarig V-systeem recirculatie	eenheid	omschrijving
7.9	7.9	7.8	7.8	•10 ⁻¹³	humane toxiciteit
1.1	1.1	1.1	1.1	•10 ⁻¹²	abiotische uitputting
4.2	4.2	3.7	3.6	•10 ⁻¹³	aquatische toxiciteit
1.4	1.4	1.4	1.4	•10 ⁻¹²	verzuring
3.0	3.1	0.88	0.88	•10 ⁻¹²	vermesting
5.9	5.9	5.9	5.9	•10 ⁻¹²	broeikaseneffect
2.8	2.8	2.7	2.7	•10 ⁻¹⁰	smogvorming
1.2	0.70	1.2	0.92	•10 ⁻¹³	geurvorming
9.3	5.3	9.3	7.0	•10 ⁻¹³	klein chemisch afval
6.5	6.7	1.6	1.6	•10 ⁻¹⁰	drinkwaterverbruik

De resultaten uit Tabel 4 zijn bovendien grafisch weergegeven in Figuur 5. Hierin is voor alle milieueffecten apart de verhouding tussen de vier varianten weergegeven waarbij het telen op éénjarig, 4 rijen, vrije drainage steeds 100% gesteld is.

In Tabel 5 en Figuur 6 is bovendien grafisch weergegeven hoe de verhoudingen van de verschillende effecten liggen voor de onderdelen "produktie / grondstofwinning", "kasverwarming", en "kunstmest en watergebruik", weergegeven in percentages van het totaal bij het gebruik van substraat.



Figuur 5 Grafische weergave van de vergelijking van milieueffecten voor vier teeltvarianten op substraat. De scores voor éénjarig 4 rijen vrije drainage zijn steeds op 100 % gesteld.

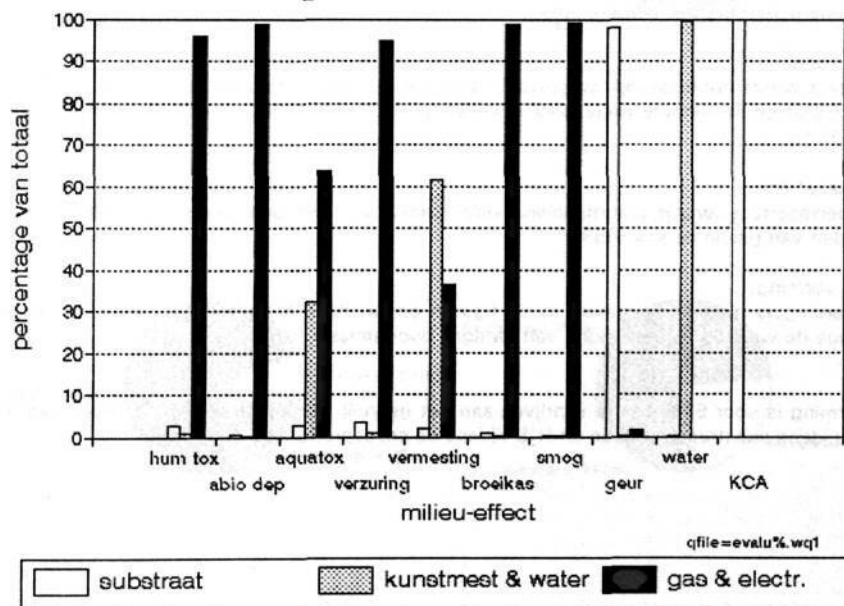
Milieueffect	eenj. recirc. Vsyot	eenj. recirc.	meerj. vrije drain	eenj. vrije drain
humane toxiciteit	1.0	1.0	1.0	1.0
abiotische uitputting	1.0	1.0	1.0	1.0
aquatische toxiciteit	1.0	1.0	1.0	1.0
verzuring	1.0	1.0	1.0	1.0
vermesting	1.0	1.0	1.0	1.0
broeikaseffect	1.0	1.0	1.0	1.0
smogvorming	1.0	1.0	1.0	1.0
geurvorming	1.0	1.0	1.0	1.0
klein chemisch afval	1.0	1.0	1.0	1.0
drinkwaterverbruik	1.0	1.0	1.0	1.0

Tabel 5

De procentuele verdeling van milieueffecten, veroorzaakt door productie (inclusief grondstofwinning en transport), kasverwarming (en elektriciteitsgebruik) en kunstmest weergegeven per effectscore (eenheidsloos). Cijfers voor substraat V-systeem en representatief voor substraat algemeen. (Zie ook Figuur 6)

productie en grondstofwinning van substraat	kunstmest productie en gebruik	gas en elektriciteit in kas	omschrijving milieuthema qfile = evalu%.wq1
2.5	0.9	96.0	humane toxiciteit
0.6	0.2	98.9	abiotische uitputting
2.5	32.0	63.6	aquatische toxiciteit
3.2	1.1	95.1	verzuring
1.9	61.7	36.2	vermesting
0.7	0.3	98.9	broeikas
0.3	0.3	99.3	smogvorming
98.1	0.4	1.5	geurvorming
0.4	99.7	0.0	drinkwaterverbruik
100.0	0.0	0.0	klein chemisch afval

verdeling milieueffecten substraat



Figuur 6 De verdeling van milieueffecten: productie & grondstofwinning, gas- & elektriciteitsgebruik in de kas en kunstmest & water, representatief voor substraat. Gebaseerd op Tabel 5 (V-systeem).

3.3.2 Oorzaken

In deze paragraaf zal worden besproken door welke emissies de effectscores grotendeels worden veroorzaakt. Per effectscore zijn de belangrijkste emissies weergegeven in Figuur 7 - Figuur 12. Voor de verdeling over de procesclusters (gas- en elektriciteitsgebruik kas, productie/grondstofwinning, kunstmest/water) wordt verwezen naar Figuur 6.

- abiotische uitputting

De score abiotische uitputting is niet weergegeven in de figuren, omdat dit volledig veroorzaakt wordt door het gebruik van fossiele brandstoffen en uranium, gebruikt voor verwarming, elektriciteitsopwekking en transport. Hiervan neemt het gebruik van gas en electriciteit in de kas verreweg het grootste deel in. De abiotische uitputting wordt dus gevormd door winning van olie, gas en uranium. Van grondstoffen voor steenwol zoals diabas en basalt is een dusdanig grote voorraad dat deze geen score voor uitputting hebben.

- humane toxiciteit;

Humane toxiciteit wordt voornamelijk veroorzaakt door emissie van NO_x en SO_2 , vrijkomend bij de bewerking en verbranding van fossiele brandstoffen. SO_2 komt voornamelijk vrij bij de bewerking van aardgas (53%) NO_x komt met name vrij tijdens de verbranding van gas in de kas (20%).

- aquatische ecotoxiciteit

Aquatische ecotoxiciteit wordt voornamelijk veroorzaakt door emissie van olie tijdens de winning en bewerking van aardgas (66%) en emissie van zware metalen tijdens de kunstmestproductie (32%).

- verzuring;

Verzuring wordt, evenals humane toxiciteit, volledig veroorzaakt door emissie van NO_x en SO_2 . Zie humane toxiciteit voor verdere uitleg.

- vermesting

Vermesting wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door de kunstmest-emissie naar water van N en P (samen 53%) en in mindere mate door emissie van NO_x tijdens het verbranden van aardgas in de kas (23%).

- broeikas effect;

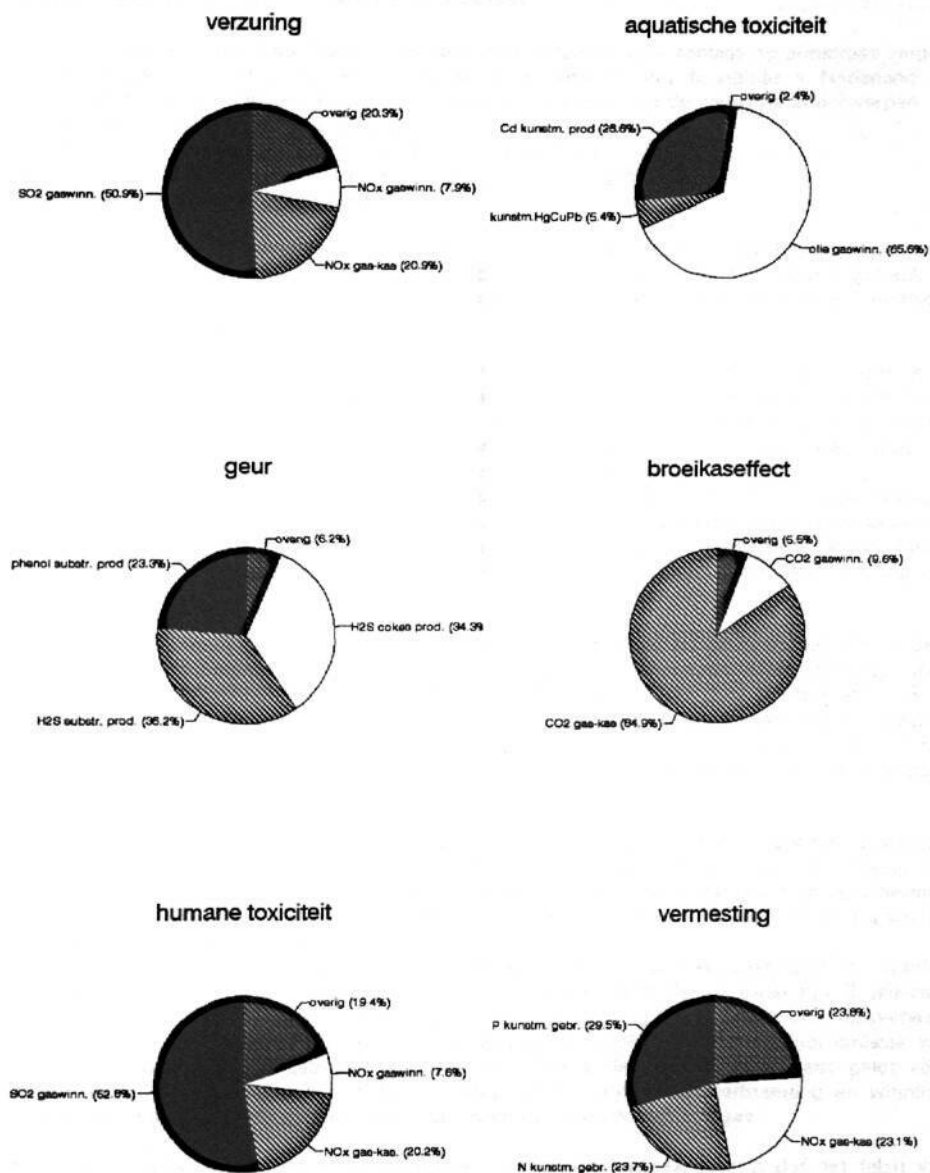
Het broeikas effect wordt voornamelijk veroorzaakt door emissie van CO_2 gedurende het verbranden van gas in de kas (85%).

- smog vorming;

Smogvorming is niet weergegeven in de figuren omdat deze bijna volledig wordt veroorzaakt gedurende de winning en bewerking van aardgas door emissie van C_xH_y .

- geur

Geurvorming is voor 94% toe te schrijven aan het gebruik van substraat door emissie van fenol en H_2S tijdens substraatproductie en H_2S tijdens de cokesproductie.



Figuur 7 - Figuur 12 De verdeling van de verschillende milieueffecten over de veroorzakende stoffen voor substraat.

Hoofdstuk 4 Conclusies

In deze studie zijn de milieu-effecten van vier teeltsystemen voor tomaat op substraat vergeleken met elkaar. Bovendien zijn de absolute scores vergeleken met de situatie in Nederland. Uit de resultaten zijn onderstaand conclusies getrokken, betrokken op de volgende onderwerpen:

- onderlinge vergelijking van teeltsystemen;
- oorzaken van de verschillende milieu-effecten per emissie;
- aandelen in milieu-effecten in substraat, kunstmest en gasgebruik;
- vergelijking met de situatie in Nederland.

• In het algemeen kan gesteld worden dat de milieueffecten voor de verschillende teeltsystemen in het algemeen weinig verschillen. Uitzonderingen hierop vormen drinkwatergebruik en vermisting, die bijzonder veel uiteenlopen en klein chemisch afval, geurvorming en aquatische toxiciteit, die enigszins uiteenlopen.

• Duidelijke verschillen tussen de teeltsystemen zijn te zien in veel lager drinkwatergebruik en vermisting in geval van recirculatie ten opzichte van vrije drainage. Dit wordt veroorzaakt door de grotere uitspoeling van meststoffen bij vrije drainage. De score voor vermisting is namelijk voor meer dan 60% afhankelijk van het gebruik van kunstmest. Geconcludeerd wordt dat recirculatie een factor 4 efficiënter omgaat met meststoffen en water.

Dit uit zich ook in een iets hogere score voor aquatische toxiciteit voor vrije drainage. Hiervoor zijn overigens de verschillen minder groot omdat aquatische toxiciteit slechts voor ongeveer 33% afhankelijk is van het gebruik van kunstmest (emissie van zware metalen tijdens productie hiervan) en voor het overige deel veroorzaakt wordt door emissie van olie tijdens winning van energiedragers.

• Minder grote verschillen zijn te zien voor klein chemisch afval en geurvorming, die in deze studie compleet afhankelijk zijn van de hoeveelheid gebruikt substraat. Klein chemisch afval ontstaat op de produktielokatie, geur wordt voornamelijk veroorzaakt door emissie van H_2S en phenol tijdens productie van substraat en zijn grondstof cokes. Dit betekent dat meerjarig substraat het laagst scoort ($\pm 58\%$ ten opzichte van éénjarig), en het V-systeem 75% scoort ten opzichte van 4-rijen door minder gebruik van substraat. Deze beide effecten zijn overigens relatief laag ten opzichte van de Nederlandse situatie.

• De overige milieu-effecten, te weten smogvorming, broeikas-effect, verzuring, abiotische uitputting en humane toxiciteit hangen allen voor meer dan 95% samen met het verbruik van gas t.b.v de kasverwarming. Doordat de uitgangspunten voor gasverbruik voor de verschillende teeltsystemen onderling nauwelijks verschillen, zijn er ook nauwelijks verschillen tussen de milieu-scores voor de vier teeltsystemen.

Hierin wordt smogvorming geheel veroorzaakt door emissie van koolwaterstoffen, waarbij agetekend moet worden dat de absolute waarde van deze score niet juist kan zijn. Broeikas-effect wordt veroorzaakt door CO_2 , geëmitteerd door verbranding van aardgas voor kasverwarming. Verzuring en humane toxiciteit worden beiden voor 50% veroorzaakt door emissie van SO_2 , veroorzaakt door het gebruik van electriciteit tijdens de gaswinning. Tevens geldt voor beiden dat 30% wordt veroorzaakt door emissie van NO_x tijdens gasverbranding en winning. Abiotische uitputting wordt geheel veroorzaakt door het gebruik van aardgas.

• Uit de vergelijking met het Bruto Nationaal Produkt van Nederland volgt dat het telen van tomaten zorgt voor relatief zeer veel drinkwatergebruik en veel broeikas-effect per gebruikte gulden: een water- en energie intensief proces. Overige milieueffecten zijn relatief laag, hetgeen deels komt doordat een "schone" brandstof en een "schone" ketel wordt gebruikt voor de kasverwarming.

• Vermindering van milieubelasting door het telen van tomaten moet vooral gezocht worden in verhogen van de efficiency zowel wat betreft de toediening van meststoffen als de verwarming van de kas.

Hoofdstuk 5 Literatuur

Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) 1993, *Statistisch Jaarboek 1993*. CBS, Den Haag.

Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) 1993 A, *Statistisch Jaarboek 1993*, hoofdstuk 11, Nationale Rekeningen. CBS, Den Haag.

Ceuterick, D, *Life cycle inventory for wall insulation products*. VITO, Mol (B), 1993.

Consumentenbond, 1990, *Rangorde energie op z'n kop gezet*, in Consumentengids september 1990, pp 512-515.

Guinée, 1993. *Data for the Normalization Step within Life Cycle Assessment of Products*. Centrum voor Milieukunde Leiden, CML paper no. 14.

Habersatter, K., *Oekobilanz von Packstoffen*. Buwal, Bern, 1991

Heijungs, R. (eindredactie). 1992. *Milieugerichte LevensCyclusAnalyses van producten, I: Handleiding, II: Achtergronden*. Centrum voor Milieukunde Leiden.

Kaskens, H.J.M. e.a., SPIN rapport *Productie van Steenwol*, RIVM/RIZA/DGM 1992

Proefstation voor Tuinbouw onder Glas Naaldwijk (PTG), schriftelijke communicatie.

Rockwool/Grodan, *mondelijke communicatie*

Rockwool/Grodan, *schriftelijke communicatie*

Sonneveld, C., 1993. *Mineralenbalansen bij kasteelten*, in *Meststoffen, 1993*.