

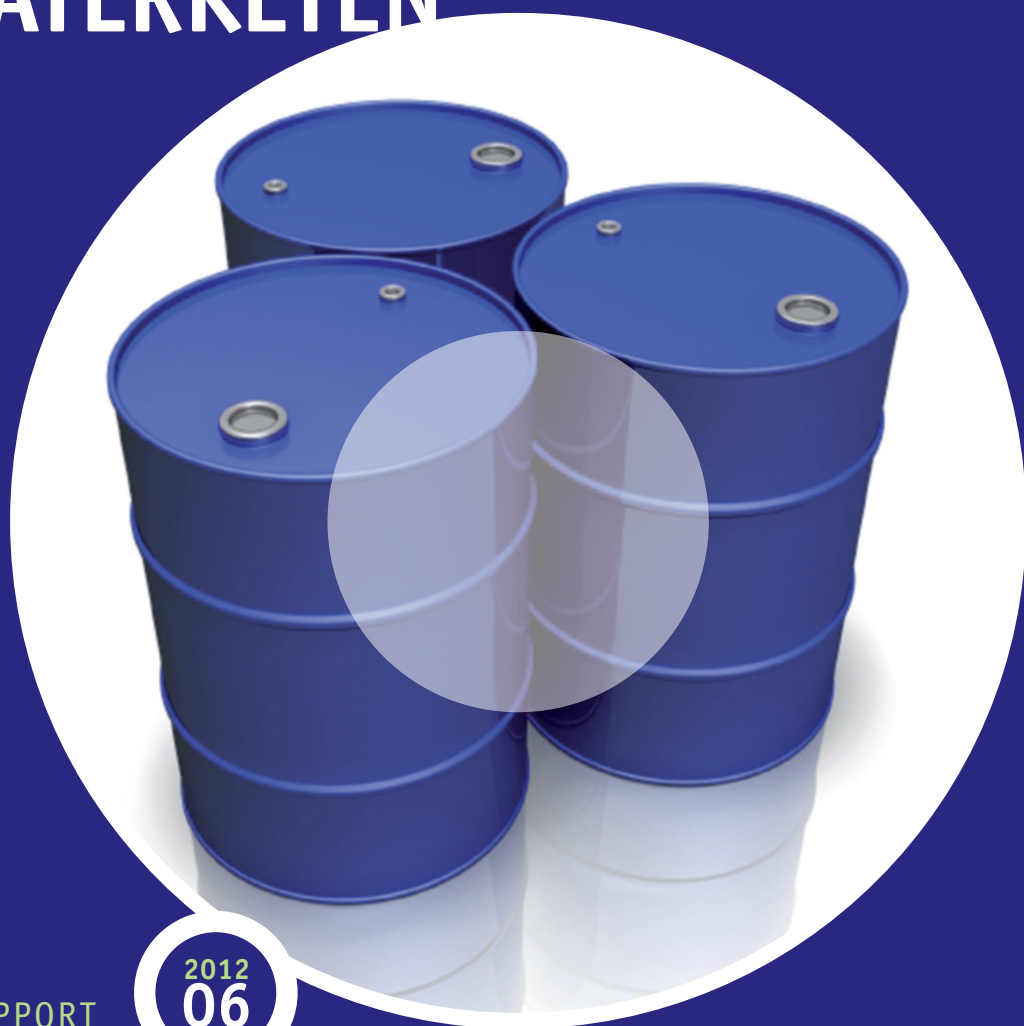
stowa



Agentschap NL
Ministerie van Economische Zaken,
Landbouw en Innovatie



GER-WAARDEN EN MILIEU-IMPACTSCORES PRODUCTIE VAN HULPSTOFFEN IN DE WATERKETEN



RAPPORT

2012
06

GER-WAARDEN EN MILIEU-IMPACTSCORES
PRODUCTIE VAN HULPSTOFFEN IN DE WATERKETEN

RAPPORT

2012

06

ISBN 978.90.5773.548.6



COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

David van der Elst, Waterschap Noorderzijlvest
Chris Kaper, Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
Enna Klaversma, Waternet
Leon Korving, Aiforo (voorheen SNB)
Heleen Pinkse, Waterschap Groot Salland,
Paul Versteeg, Hoogheemraadschap van Rijnland
Frerik van der Pas, AgentschapNL
Cora Uijterlinde, STOWA

WERKGROEP DRINKWATERPRODUCTIE

Geo Bakker, Vitens NV
Ruud van der Neut, PWN
Luc Palmen, WML
Marthe de Graaff, KWR

PROJECTUITVOERING

Maarten Afman, CE Delft B.V.
Marijn Bijleveld, CE Delft B.V.
Mirabella Mulder, Mirabella Mulder Waste Water Management

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau

STOWA STOWA 2012-06

ISBN 978.90.5773.548.6

COPYRIGHT De informatie uit dit rapport mag worden overgenomen, mits met bronvermelding. De in het rapport ontwikkelde, dan wel verzamelde kennis is om niet verkrijgbaar. De eventuele kosten die STOWA voor publicaties in rekening brengt, zijn uitsluitend kosten voor het vormgeven, vermenigvuldigen en verzenden.

DISCLAIMER Dit rapport is gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteurs en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit dit rapport.

DE STOWA IN HET KORT

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. Dat zijn alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen en de provincies.

De waterbeheerders gebruiken de STOWA voor het realiseren van toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk juridisch en sociaal-wetenschappelijk onderzoek dat voor hen van gemeenschappelijk belang is. Onderzoeksprogramma's komen tot stand op basis van inventarisaties van de behoefte bij de deelnemers. Onderzoekssuggesties van derden, zoals kennisinstituten en adviesbureaus, zijn van harte welkom. Deze suggesties toetst de STOWA aan de behoeften van de deelnemers.

De STOWA verricht zelf geen onderzoek, maar laat dit uitvoeren door gespecialiseerde instanties. De onderzoeken worden begeleid door begeleidingscommissies. Deze zijn samengesteld uit medewerkers van de deelnemers, zonodig aangevuld met andere deskundigen.

Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget zo'n 6,5 miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 033 - 460 32 00.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 2180, 3800 CD Amersfoort.

Email: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl

GER-WAARDEN EN MILIEU-IMPACTSCORES PRODUCTIE VAN HULPSTOFFEN IN DE WATERKETEN

INHOUD

	STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
	1.1 Achtergrond	1
	1.2 Te onderzoeken hulpstoffen	1
	1.3 Bronnen	3
	1.3.1 Overige bronnen	3
	1.4 Leeswijzer rapportage	3
2	DOEL EN GEBRUIK	4
	2.1 Inzage in 'hot spots'	4
	2.2 Producten onderling vergelijken	4
3	METHODIEK	6
	3.1 Afbakening	6
	3.2 Methode energie- en milieu-impactanalyse	6
	3.2.1 Energieanalyse Productie stoffen: de GER-waarde	7
	3.2.2 Milieu-impactanalyse Productie stoffen: ReCiPe-methode	7
	3.3 Modelleren van processen	8
	3.4 Stoffen in oplossing	10
	3.5 Onzekerheid	10
	3.6 Bovenstaande indeling is aangegeven per onderzochte stofLeeswijzer bij de resultaten	11
	3.6.1 Toelichting en leeswijzer Boomstructuur	11
4	PRODUCTIE HULPSTOFFEN ECOINVENT	14
	4.1 Aluminiumsulfaat ($Al_2(SO_4)_3$)	14
	4.2 Antiscalants	14
	4.3 Azijnzuur (CH_3COOH)	16
	4.4. Bio-ethanol	17
	4.5 Broxo zout (NaCl)	18

4.6	Calciumoxide (CaO)	20
4.7	Chloor (Cl ₂)	21
4.8	Chloorbleekloog (NaOCl)	23
4.9	Diammoniumfosfaat ((NH ₄) ₂ HPO ₄)	24
4.10	Dicalciumfosfaat (calciumhydrofosfaat, CaHPO ₄)	25
4.11	Gasolie rood (aggregaat)	27
4.12	Glycerine	28
4.13	Hardovencokes	30
4.14	Houtchips	31
4.15	IJzerchloride (FeCl ₃)	32
4.16	IJzersulfaat (Fe ₂ SO ₄)	34
4.17	Kalkhydraat (Ca(OH) ₂)	35
4.18	Kalksteen en krijt (reactief CaCO ₃)	36
4.19	Koolzuurgas, vloeibaar (CO ₂)	37
4.20	Magnesiumoxide (MgO)	38
4.21	Natriumhypochloriet (NaOCl)	39
4.22	Natronloog (NaOH)	39
4.23	Methanol (CH ₃ OH)	40
4.24	Suikers	41
4.25	Waterstofperoxide (H ₂ O ₂)	42
4.26	Witte fosfor (P)	43
4.27	Zoutzuur (HCl)	44
4.28	Zuurstof, vloeibaar (O ₂)	46
4.29	Zwavelzuur (H ₂ SO ₄)	48
5	HULPSTOFFEN MET MODELLERING	49
5.1	Actieve kool (geregenereerde actieve kool)	49
5.2	Aluminiumchloride (AlCl ₃)	51
5.3	Antraciet, Filterzand, zilverzand, grind, granaatzand en marmer	52
5.4	IJzerchlorosulfaat (FeClSO ₄)	58
5.5	Kalkmelk, 300 g/l oplossing van gebluste kalk (Ca(OH) ₂)	60
5.6	Magnesiumchloride (MgCl ₂)	61
5.7	Natriumaluminaat (NaAlO ₂)	64
5.8	Poly-aluminiumchloride (Al _n Cl _(3n-m) (OH) _m)	66
5.9	Poly-aluminiumsulfaat ([Al ₂ (SO ₄) ₃ · nH ₂ O] _m)	67
5.10	Poly-electroliet/polymeren	68
	5.10.1 Modellen poly-electroliet	69
	5.10.2 Uitkomsten poly-electroliet	70
6	RESULTATEN EN CONCLUSIES	73
6.1	Resultaten	73
6.2	Algemene opmerkingen	73
6.3	Aandachtspunten fosfaat teruggewinning uit afvalwater	74
6.4	Aanbevelingen voor vervolgonderzoek	75
	LITERATUURLIJST	80
	BIJLAGEN	
A	BEGRIPPENLIJST	83
B	TRANSPORT KENTALLEN	85
C	PRODUCTIE NATRONLOOG EN CHLOOR	87

1

INLEIDING

1.1 ACHTERGROND

Voor de behandeling van afvalwater in een rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI) bestaan verschillende processen. Binnen het platform van de Energiefabriek worden hiervoor verschillende varianten onderzocht. Een aantal ervan zorgen voor dosering van meer chemische hulpstoffen in het zuiveringsproces. Een belangrijk aandachtspunt is of de energiebesparing of -productie, die behaald wordt met een variant, opweegt tegen de energie-impact van de productie van de chemicaliën die hiervoor nodig zijn. Om deze reden is besloten onderzoek te doen naar het energieverbruik van de productie van hulpstoffen die gebruikt worden in het zuiveringsproces.

Ook in de processen van drinkwaterproductie zijn er diverse deelprocessen, waarbij een keuze in dosering van chemicaliën of toepassing van hulpstoffen¹ mogelijk is. Het energiegebruik van de productie van de gebruikte hulpstoffen is een aandachtspunt bij de keuze tussen alternatieve processtappen, waarin de benodigde dosering van chemische hulpstoffen verschilt. Welke keuze moet gemaakt worden als een zuiveringsvariant een energiezuiniger proces heeft, maar het gebruik van chemicaliën of hulpstoffen hoger is? Deze vragen leven ook bij de drinkwaterbedrijven.

1.2 TE ONDERZOEKEN HULPSTOFFEN

In deze studie worden van de stoffen, weergegeven in Tabel 1, de GER-waarden en milieu-impact van de productiestap bepaald. Voor ieder van de hulpstoffen worden de volgende aspecten uitgewerkt:

- De energie-impact van de productie van de hulpstoffen, uitgedrukt in de GER-waarde (Gross Energy Requirement, de bruto primaire energie) van de stof, uitgesplitst in een component hernieuwbare energie en niet-hernieuwbare energie;
- Milieu-impact van de productiestap, uitgedrukt in de enkele indicator volgens de ReCiPe-methodiek;
- Een toelichting van de verkregen resultaten per hulpstof, met een visualisatie van de totstandkoming van de ReCiPe-score met een boomdiagram ('netwerkanalyse').

Deze rapportage stelt zich daarnaast ten doel om een gebruiksadvies voor de berekende tabelwaarden te geven (wat wel en niet mag met de tabelwaarden) inclusief een uitleg over de gebruikte methodiek.

¹ Binnen de drinkwaterbedrijven wordt onderscheid gemaakt tussen chemicaliën en hulpstoffen. Chemicaliën zijn stoffen die worden verbruikt in de productie en distributie van drinkwater, welke worden opgelost in het drinkwater. Bijvoorbeeld: natronloog en kalkproducten. Hulpstoffen zijn dan stoffen die worden gebruikt maar waarbij de stof slechts in aanraking komt met drinkwater. Bijvoorbeeld: filter- en entzand en actieve kool. Dit onderscheid in terminologie bestaat niet bij de RWZI's, vandaar dat we in deze studie steeds de term hulpstoffen zullen gebruiken, ook voor chemische toeslagstoffen.

De afbakening van de studie is 'cradle to factory gate'. Dit betekent dat alleen de milieueffecten van de productie van de hulpstoffen in kaart worden gebracht, van de winning van de primaire grondstoffen tot en met de productielocatie waar de stof de laatste bewerking ondergaat.

TABEL 1 HULPSTOFFEN ONDERZOCHT IN DEZE STUDIE

Naam stof:	Formule	Andere naam	Water-productie	Afvalwater-behandeling
Actieve Kool (geregenereerd actieve kool)	C	Granular Active Carbon (GAC)	X	X
Aluminiumchloride	AlCl ₃			X
Aluminiumsulfaat	Al ₂ (SO ₄) ₃		X	
Azijnzuur	CH ₃ COOH	Acetaat		X
Antiscalant: polycarboxylaten			X	
Bio-ethanol	C ₂ H ₅ OH			X
Broxo zout	NaCl	Natriumchloride	X	
Calciumoxide	CaO	Ongebluste kalk	X	
Chloor	Cl ₂		X	
Diammoniumfosfaat*	(NH ₄) ₂ HPO ₄	ammoniumwaterstoffosfaat		
Dicalciumfosfaat*	CaHPO ₄	Calciumhydrofosfaat, single/triple superfosfaat (SSP/TSP)		
Filtermaterialen: antraciet, filterzand, zilverzand, grind, granaatzand	C, SiO ₂ , Fe ₃ Al ₂ (SiO ₄) ₃ , Ca ₃ Fe ₂ (SiO ₄) ₃	Filter-, silica- en entzand	X	X
Marmer en akdoliët	CaCO ₃ , CaCO ₃ ·MgO	Dolomitisch materiaal	X	
Gasolie rood		Rode diesel	X	
Glycerine				X
Hardovencokes	C	Steenkoolcokes		X
Houtchips				X
IJzerchloride,	FeCl ₃	Ferrichloride	X	X
IJzerchlorosulfaat	FeClSO ₄		X	
IJzersulfaat	Fe ₂ SO ₄			X
Kalkhydraat	Ca(OH) ₂	Gebluste kalk, calciumhydroxide		X
Kalkmelk	Ca(OH) ₂ (aq)	Suspensie van gebluste kalk	X	X
Kalksteen en krijt	CaCO ₃	Reactief CaCO ₃		X
Magnesiumchloride	MgCl ₂			X
Magnesiumoxide	MgO			X
Methanol	CH ₃ OH			X
Natriumhydroxide	NaOH	Natronloog	X	X
Natriumaluminaat	NaAlO ₂			X
Natriumhypochloriet	NaOCl	Chloorbleekloog (zie chloorbleekloog)	X	X
Suikers (Melasse)				X
Poly-aluminiumchloride	Al _n Cl _(3n-m) (OH) _m		X	X
Poly-aluminiumsulfaat	[Al ₂ (SO ₄) ₃ ·nH ₂ O] _m			X
Poly-electroliët		Polymeren		X
Vloeibaar CO ₂	CO ₂ (l)	Koolzuurgas	X	
Witte fosfor*	P			X
Waterstofperoxide	H ₂ O ₂		X	
Zoutzuur	HCl		X	X
Zuurstof, vloeibaar	O ₂ (l)		X	X
Zwavelzuur	H ₂ SO ₄		X	X

* Kan vervangen worden door producten uit terugwinning van fosfaat uit afvalwater

1.3 BRONNEN

Een deel van de stoffen is direct in de Ecoinvent-database (Industrial Life Cycle Inventory) voorhanden. Van deze stoffen is tot op een zeker detailniveau informatie over de levenscyclus en productiewijze bekend. Voor de stoffen waar dit niet voor geldt, bijvoorbeeld granaatzand of actieve kool, is het meer werk om de GER-waarde en milieu-impact van de productie te bepalen. Deze stoffen zijn gemodelleerd. Daar waar fabrikanten gegevens hebben verstrekt, zijn deze gebruikt om de modellen van productiewijzen op te zetten. Indien geen gegevens voorhanden waren, is openbare informatie gebruikt.

De gebruikte bronnen worden per stof duidelijk aangegeven. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen gebruik van de Ecoinvent-database en uitgevoerde berekeningen op basis van gegevens niet afkomstig uit de Ecoinvent-database. In het geval dat er onzekere en/of conflicterende bronnen beschikbaar zijn, worden in de rapportage verschillende opties beschouwd en wordt een voorstel gedaan voor de te gebruiken GER-waarde. Mogelijk dient de berekende GER-waarde als indicatief te worden beschouwd, dit is dan aangegeven.

1.3.1 OVERIGE BRONNEN

Agentschap NL beheert ook een (generieke) database met GER-waarden voor stoffen. Deze lijst is te verkrijgen via de website van Agentschap NL². De primaire functie van deze database is dat bedrijven die deelnemen aan MJA/MEE-convenanten met de database de energie-impact van reducties in het gebruik van grondstoffen of hulpstoffen kunnen becijferen. De lijst bevat generieke GER-waarden voor bouwmaterialen, kunststoffen, brandstoffen, en veel andere stoffen.

1.4 LEESWIJZER RAPPORTAGE

Deze rapportage vervolgt in Hoofdstuk 2 met een gebruiksadvies voor de berekende tabelwaarden. Hoofdstuk 3 bevat de afbakening en de methodologische achtergrond; lees dit hoofdstuk om vertrouwd te raken met de methodiek omtrent GER-waarden en ReCiPe-scores. Vervolgens worden in Hoofdstuk 4 en Hoofdstuk 5 de verkregen resultaten per hulpstof toegelicht, in Hoofdstuk 4 voor de stoffen die rechtstreeks in de Ecoinvent-database voorhanden zijn en in Hoofdstuk 5 voor de stoffen die gemodelleerd zijn. Resultaten en conclusies zijn het onderwerp van Hoofdstuk 6 met daarin ook overzichten van alle tabelwaarden.

Vervolgens zijn er nog drie bijlagen. Bijlage A bevat de begrippenlijst. In Bijlage B worden transportkantallen gegeven. Deze zijn nuttig om inzicht te krijgen in de impact van het transport (bij stoffen die van ver komen). In Bijlage C wordt ingegaan op ontwikkelingen in de Europese chloor/alkali-industrie.

2 <http://www.agentschapnl.nl/content/ger-waarden-database-mja>

2

DOEL EN GEBRUIK

2.1 INZAGE IN 'HOT SPOTS'

De vraag om tabelwaardes op te stellen van de energie- en milieu-impact die gemoeid is met de productie van hulpstoffen, komt voort uit de wens van de drinkwaterbedrijven en de waterschappen, om meer inzage in effecten rond het gebruik van (chemische) hulpstoffen te verkrijgen.

De opgestelde tabelwaarden geven inzage in gemiddelde cijfers voor algemene productieprocessen van de hulpstoffen en omvatten de effecten van de **productie van de stof** (zie afbakening, paragraaf 3.1). De opgestelde tabelwaardes kennen een onzekerheid en het gebruik hiervan kan aan regels gebonden zijn (bv. vanuit ISO 14040).

Een doel, waarbij deze tabelwaarden goed toepasbaar zijn, kan zijn *om in de context van het drinkwaterproductie- of afvalwaterzuiveringsproces inzicht te verkrijgen in 'hotspots' op het gebied van milieubelasting en energie-impact.*

Het kan bijvoorbeeld gaan om de vraag of een bepaalde hulpstof nader onderzoek behoeft, en wellicht of daar energie- of milieuwinst zou kunnen behaald worden. Het gebruik van een hulpstof (bijvoorbeeld in kilogrammen per jaar) wordt vermenigvuldigd met de corresponderende uitkomst. Op deze wijze wordt inzicht verkregen in de ordegrrootte van de energie- en milieu-impact van de productie van de gebruikte hulpstof. Vervolgens kan worden ingeschat of die impact betekenisvol is (in verhouding tot milieueffecten en energiegebruik van andere hulpstoffen of de eigen procesinstallaties³). Op het gebied van geïdentificeerde hotspots kan gedetailleerder worden gekeken wat de mogelijke alternatieven zijn en de verschillende voor/nadelen van die alternatieven. Alvorens conclusies te trekken, moet méér worden gedaan dan tabelwaarden te vergelijken.

2.2 PRODUCTEN ONDERLING VERGELIJKEN

De uitkomsten uit dit onderzoek, tabelwaardes van energie- en milieukentallen van de productie van hulpstoffen, mogen niet de enige basis vormen voor onderlinge productvergelijking. De tabelwaardes omvatten de ketenstappen tot en met de productiefase, maar niet de ketenstappen die daarna volgen, zoals gebruik en verwerking na gebruik. Voor onderlinge productvergelijking dient te worden gekeken naar effecten tijdens en na het gebruik van de stof. Daarnaast kennen de tabelwaardes onzekerheden.

Een voorbeeld: stel men wil alternatieve producten X en Y vergelijken. De tabelwaardes van X zijn iets gunstiger; stel X heeft een 10% lagere GER-waarde en ReCiPe-score. Mag men dan X verkiezen boven Y?

³ In deze vergelijking dient het energieverbruik uitgedrukt te worden in primaire energie (zie Begrippenlijst in bijlage A)

Nee, dit mag niet omdat de tabelwaardes niet alle effecten omvatten. Het kan bijvoorbeeld zijn dat het middel X minder effectief is, waardoor men van X significant méér dient te doseren dan van Y. Het kan ook zijn dat gebruik van X aan risico's voor de werknemer gebonden is, omdat X een gevaarlijker stof is dan Y. Bovendien worden de (milieu)effecten van het gebruik van stof X of Y niet meegenomen (bij het proces van een afvalwaterzuivering zou het dan kunnen gaan om emissie van de stof via het effluent van de installatie; bij het proces van de drinkwaterbereiding spelen mogelijk andere effecten). Kortom, men dient dus naar meer aspecten te kijken dan alleen de energie- en milieukentallen van de productie van de stoffen.

Deze studie is een analyse van de productie van stoffen zelf, geen levenscyclusanalyse van het productieproces in een drinkwaterbedrijf of een zuiveringsproces in een RWZI. Niet meegenomen zijn effecten tijdens en na gebruik, zoals effectiviteit van het product; toxiciteit; wisselwerking met andere onderdelen in het zuiveringsproces, invloed op gebruik en effectiviteit van andere hulpstoffen; invloed op emissies of kwaliteit effluent; en zo verder.

3

METHODIEK

3.1 AFBAKENING

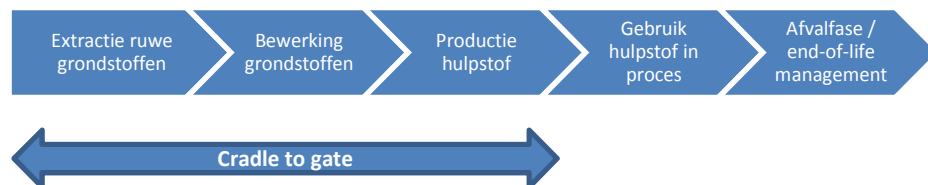
De afbakening van deze studie is, voor alle onderzochte stoffen 'cradle to factory gate'. Dit betekent dat alleen de milieueffecten van de productie van de hulpstoffen in kaart zijn gebracht, van de winning van de primaire grondstoffen, tot en met de productielocatie waar de stof de laatste bewerking ondergaat.

Niet meegenomen zijn de milieueffecten tijdens het transport van de productielocatie naar de gebruiker, gebruik in de procesinstallatie en alle effecten daarna. Dit zijn dus effecten als effectiviteit in het proces, wisselwerkingen met andere hulpstoffen, effecten op emissies naar de omgeving. Bij het vergelijken van producten dient men ook deze effecten te beschouwen, zie de vorige alinea.

Wanneer de productielocatie van de hulpstof bekend is en de impact van het transport ook moet worden meegenomen, dan bevat bijlage B hiertoe generieke GER-waarden en ReCiPe-scores van transportwijzen die kunnen worden gebruikt. Dit biedt de mogelijkheid om grofweg inzage in de invloed van het transport te krijgen.

FIGUUR 1

WEERGAVE VAN DE AFBAKENING



3.2 METHODE ENERGIE- EN MILIEU-IMPACTANALYSE

In deze studie is gebruik gemaakt van het softwareprogramma SimaPro. SimaPro is gericht op het uitvoeren van levenscyclusanalyse en maakt zowel het modelleren van stoffen als het milieu-kundig analyseren ervan mogelijk.

SimaPro bevat uitgebreide databases met levenscyclusinformatie van materialen, stoffen en (industriële) processen, waarvan gebruik wordt gemaakt bij het modelleren. De Ecoinvent-database is de meest uitgebreide en kwalitatief hoogwaardige op dit terrein. De hulpstoffen waarvan de GER-waarde in de eerdere studie berekend zijn, zijn direct beschikbaar in de Ecoinvent-database⁴. De overige hulpstoffen zijn niet beschikbaar: deze worden gemodelleerd aan de hand van wel beschikbare stoffen in de database (zie paragraaf 3.3).

⁴ Ecoinvent-database, versie 2.2 (2010).

Na selectie of modellering worden de hulpstoffen geanalyseerd op energie-inhoud en milieueffecten door middel van de binnen SimaPro aanwezige analysemethoden CED (Cumulative Energy Demand) en ReCiPe. Deze twee methoden worden in de volgende subparagrafen besproken.

3.2.1 ENERGIEANALYSE PRODUCTIE STOFFEN: DE GER-WAARDE

De GER-waarde wordt bepaald door middel van de impactanalysemethode ‘Cumulative Energy Demand’ (CED). Hoewel de termen verschillend zijn, drukken GER en CED hetzelfde uit: de primaire energie-inhoud van een materiaal, waarbij het energieverbruik in de gehele keten van winning tot productie van de stof is meegeteld, dus ‘cradle to factory gate’ (zie de afbakening in paragraaf 3.1). De eenheid is MJ/kg.

De impactanalysemethode CED bevat zes typen energiebronnen, die opgeteld de totale energiebehoefte vormen, de totale GER-waarde. In de GER-waarde zijn zowel hernieuwbare als niet-hernieuwbare bronnen van energie opgenomen, zie Tabel 2.

Het gaat hierbij om de chemische energie (ingesloten in gewonnen grondstoffen), alsook bij processen toegevoegde energie (brandstoffen, elektriciteit). Wanneer een uitspraak moet worden gedaan over hoeveel ‘milieuvervuilende’ energie bij de productie van een stof betrokken is, dan kan het beste naar de niet-hernieuwbare energiebronnen worden gekeken.

TABEL 2 BIJDRAGEN AAN DE ENERGIE-INHOUD IN DE METHODE ‘CUMULATIVE ENERGY DEMAND’

Type	Bron	Omvat
Niet-hernieuwbaar	Fossiel	Energie uit olie, gas, steenkool, bruinkool, etc.
	Nucleair	Kernenergie
	Biomassa	Energie uit biomassa/hout/biotische grondstoffen waarbij primaire bossen worden aangetast, bijvoorbeeld door houtkap of verandering van landgebruik waardoor primair woud verloren gaat.
Hernieuwbaar	Biomassa	Energie uit hernieuwbare biomassa, agrarische en/of voedselketens. Er is geen ontbossing of verandering van landgebruik.
	Wind, zon, geothermisch	Wind-, zonne- en geothermische energie
	Water	Energie uit waterkracht

3.2.2 MILIEU-IMPACTANALYSE PRODUCTIE STOFFEN: RECIPE-METHODE

De berekening van de milieu-impact van de productie van een stof volgt op de inventarisatiestap en het modelleren. In eerste instantie is het resultaat van de milieu-impactanalyse een lange lijst met emissies, ruwe grondstoffen en andere onderwerpen (zie de linker kolom van Tabel 3). Het gaat hier om de impacts en emissies van productie van de stof tot aan de poorten van de fabriek ‘cradle to factory gate’.

Deze lange lijst impacts behoeft echter interpretatie; de ReCiPe-methode, de opvolger van de vroeger veel gebruikte Eco-indicator 99- en CML2-methoden, biedt een methodiek hiervoor.

De ReCiPe-methode zet de lange lijst met primaire resultaten om in beter te interpreteren indicatoren. De methode biedt drie niveaus van impactanalyse:

- Het Midpoint-niveau (bevat achttien milieueffecten);
- Het Endpoint-niveau (de effecten gegroepeerd in drie indicatoren);
- Een enkele indicator (gewogen score van de drie indicatoren).

Om de hulpstoffen goed te kunnen vergelijken is gebruik gemaakt van de Endpoint-methode met weging naar de enkele indicator⁵. Deze enkele indicator (in dit rapport verder genoemd de ReCiPe-score), kan beschouwd worden als een dimensieloos getal die een maat is voor de hoeveelheid milieuschade van de productie van een stof.

De eenheid van de ReCiPe-indicator is zo gekozen dat een waarde van 1 punt representatief is voor een duizendste van de jaarlijkse milieubelasting van een gemiddelde Europeaan. Voor de leesbaarheid worden de waarden in deci-punt gepresenteerd (1 dPt = $\frac{1}{10}$ Pt).

TABEL 3 SCHEMATISCH OVERZICHT VAN DE RELATIE TUSSEN MIDPOINTS, ENDPOINTS EN DE ENKELE INDICATOR

LCI-resultaat	Midpoint	Normalisatie	Endpoint	Enkele indicator
Lange lijst van emissies en stoffen:	Ozonlaagaantasting	DALY	Schade aan humane gezondheid (DALY)	Enkele indicator, verkregen door weging van de drie endpoints
	Humane toxiciteit	DALY		
Ruwe grondstoffen	Ioniserende straling	DALY		
Landgebruik	Smogvorming	DALY		
CO ₂	Fijn stofvorming	DALY		
VOS	Klimaatverandering	Human Health: DALY		
P		Ecosystems: species*yr	Schade aan ecosystemen (species*yr)	
SO ₂				
NO _x	Verzuring, bodem	species*yr		
CFC	Ecotoxiciteit, bodem	species*yr		
Cd	Landgebruik, urbaan	species*yr		
DDT	Landgebruik, agrarisch	species*yr		
etc.	Verandering van landgebruik	species*yr		
	Ecotoxiciteit, zoutwater	species*yr		
	Vermesting, zoetwater	species*yr		
	Ecotoxiciteit, zoetwater	species*yr		
	Uitputting, mineralen/metalen	\$	Schade aan grondstofbeschikbaarheid (\$)	
	Uitputting, fossiel	\$		
	Vermesting, zoutwater	-	-	
	Water, depletie	-	-	

Wat is VOS?

3.3 MODELLERING VAN PROCESSEN

De hulpstoffen die niet in de Ecoinvent-database voorhanden zijn, zijn gemodelleerd aan de hand van het productieproces van de stof uit zijn grondstoffen (reactanten).

De eerste aanzet hierbij is de openbare literatuur. Op basis hiervan kan vaak achterhaald worden hoe de stof geproduceerd wordt en welke reactievergelijking van toepassing is. In veel gevallen zijn de grondstoffen van de hulpstof wel opgenomen in de meer dan 500 chemicaliën die de Ecoinvent-database bevat; in zo'n geval kan het productieproces van een

5 Hierbij is gekozen voor normalisatie op Europees niveau - en panelweging vanuit hiërarchisch perspectief ('Europe ReCiPe H/H').

stof worden gemodelleerd in het softwareprogramma SimaPro, waarbij de hoeveelheden van de grondstoffen volgen uit de reactievergelijking. Dit geeft een ondergrens voor de GER-waarde en de milieu-impact. Om aspecten als de energie-inputs van het proces niet achterwege te laten, worden ook waarden opgenomen voor het energiegebruik van de installaties; transportafstanden van de grondstoffen en de levensduur van de fabriek. De manier waarop dit gedaan is volgt de in Ecoinvent gehanteerde methode.

Als meer specifieke informatie ontbreekt, dan gelden de volgende aannames:

- Een fabriek kent een zekere functionele levensduur. In Ecoinvent wordt hiervoor bij nagenoeg alle chemicaliën (organisch/anorganisch) 2,5 megaton productie aangehouden⁶, ofwel 50 jaar productie met een omvang van 50 kiloton per jaar. Deze levensduur nemen we ook aan voor de te modelleren stoffen.
- Voor de transportafstanden van de grondstoffen hanteert Ecoinvent de daadwerkelijke transportafstanden waar data van verkrijgbaar zijn. Zijn de daadwerkelijke transportafstanden niet bekend dan wordt, bij productie binnen Europa, een transportafstand van 600 kilometer per spoor en 100 kilometer over de weg gebruikt. Deze benadering is ook gehanteerd voor de modellen van processen in deze studie.
- De energiebehoeftes (procesenergie) vallen uiteen in toe te voeren warmte en stoom, benodigd voor het proces en de zuiveringsstappen, en een hoeveelheid elektriciteit die nodig is om de utilities draaiende te houden (bijvoorbeeld pompen, koelinstallaties, regelapparatuur). De methode zoals gebruikt door Ecoinvent wordt gevolgd: als er geen specifieke informatie voorhanden is, worden waarden gebruikt die gemeten zijn over een grote industriële site in Duitsland, waar een mix aan chemicaliën, inclusief intermediates, worden geproduceerd. Het gaat hier om 3,2 MJ per kg product, uitgesplitst in 50% aardgas; 38% elektriciteit en 12% stoom van externe bronnen. In Ecoinvent wordt dit vertaald naar 2,0 MJ "Heat, natural gas burned in industrial furnace >100 kW", en 0,333 kWh aan "Electricity, medium voltage, production mix UCTE⁷". Deze waarden worden ook gehanteerd voor gemodelleerde processen, tenzij specifieke informatie beschikbaar is of herleid kan worden dat bovenstaande waarden te hoog zijn.
- Er zijn geen emissies aangenomen, anders dan de emissie van 3,2 MJ aan warmte naar de omgeving (de 2,0 MJ warmte uit aardgas en 0,333 kWh elektriciteit).

Bovenstaande aannames voor het productieproces zijn van invloed op de GER-waarde en de ReCiPe-score van een stof. De GER-waarden en ReCiPe-scores zouden dan lager uitvallen. In dit geval vindt een onderschatting plaats van milieueffecten van de productie. De bijdrage aan de GER-waarde is 7,88 MJ per kg stof, vooral verband houdend met het elektriciteitsgebruik (3,8 MJ) en de inzet van aardgas (2,5 MJ). De bijdrage aan de ReCiPe-score bedraagt 0,46 dPt. Hierbij draagt het gebruik van elektriciteit en aardgas in ongeveer gelijke delen bij.

Bij de beschrijving van de modellering wordt altijd vermeld wanneer aannames zijn gebruikt of is afgeweken van deze waardes. Daarnaast zijn fabrikanten benaderd voor specifieke informatie. Voor specifieke producten is aangegeven waar gebruik is gemaakt van de informatie van fabrikanten.

⁶ Per kg geproduceerd product wordt $4 \cdot 10^{-10}$ stuks 'Chemical plant, organics/RER/I' gebruikt.

⁷ UCTE is de Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity. Dit is het gesynchroniseerde hoogspanningsnet van continentaal Europa, exclusief voormalige Sovjet-Unie en exclusief de NORDEL-landen (Noorwegen, Zweden, Finland).

3.4 STOFFEN IN OPLOSSING

Sommige stoffen worden verhandeld en gebruikt in een waterige oplossing. De vermelde GER-waarden en ReCiPe-scores gelden, tenzij anders aangegeven, voor de droge stofinhoud van de oplossing. Om deze correct te gebruiken, moet van het eigen proces de fractie droge stof bekend zijn. Het is ook mogelijk om de tabelwaarden naar waarden om te rekenen die voor het eigen proces toepasbaar zijn. Een rekenvoorbeeld van de laatste optie is, voor natronloog op een 30%-concentratie, weergegeven in Tabel 4.

TABEL 4 REKENVOORBEELD GER-WAARDE VOOR EEN STOF IN OPLOSSING

	GER-waarde (MJ/kg)	Massa fractie	Resultaat (MJ/kg)
Natronloog puur (membraan)	20,7	0,30	6,2
Water	0,012(*)	0,70	0,01
Natronloog 30% opl.			6,2

(*) Ecoinvent: Water, ultrapure, at plant/GLO

De GER-waarde van de oplossing is dus 30% van de GER-waarde van de droge stof. De GER-waarde van (industrie-) water is dermate laag dat deze in berekeningen niet significant is.

Voor het omrekenen van de ReCiPe-score bij stoffen in oplossing wordt dezelfde benadering voorgeschreven.

In de rapportage wordt afgeweken van bovenstaande benadering voor de stof **kalkmelk**. Bij deze stof is de GER-waarde al gecorrigeerd voor de concentratie, die 300 g/l is. Als in een proces 1 kg kalkmelk wordt gebruikt met een concentratie van 300 g/l, dan is de aangegeven tabelwaarde van kalkmelk zonder omrekening van toepassing. Wordt een andere concentratie kalkmelk gebruikt dan dient de waarde te worden gecorrigeerd.

3.5 ONZEKERHEID

De verschillende soorten berekende waarden kennen allemaal een onzekerheid in hoe representatief de tabelwaarden zijn voor de Nederlandse situatie. Dit is weergegeven in Tabel 5.

TABEL 5 SOORTEN BEREKENDE WAARDEN

Stof, waarvoor...	Onzekerheid
... een bestaand Ecoinvent-proces voorhanden is	Representatief voor de stof zoals die in Europa wordt geproduceerd
... op basis van openbare literatuur een proces voor gemodelleerd is	Representatief voor Europa; iets grotere onzekerheid
... het proces is gemodelleerd op basis van informatie van één of meer fabrikanten	Representatief voor in ieder geval één product, gebruikt in Nederland

De berekende waarden waarbij fabrikanten niet betrokken zijn kennen een grotere onzekerheid dan stoffen waarbij wel fabrikanten betrokken zijn: de gebruikte waarden zijn gemiddelden voor de productie van de stof in Europese productielocaties. Deze waarden kunnen als representatief worden beschouwd, maar de gemiddelden kunnen afwijken van een uitkomst die wordt verkregen als een specifieke fabriek wordt bezocht en het productieproces ter plaatse gedetailleerd in kaart zou worden gebracht.

Waarden die berekend zijn op basis van openbare literatuur kennen een iets grotere onzekerheid. Precieze gegevens over het rendement van een proces of de specifieke energie-inputs van het productieproces konden namelijk vaak niet verkregen worden binnen de context van deze studie. In deze gevallen is met gemiddelde waardes gewerkt. Hierbij is zoals eerder genoemd aangesloten bij de methode van Ecoinvent, waardoor de mate van extra onzekerheid beperkt is.

3.6 BOVENSTAANDE INDELING IS AANGEGEVEN PER ONDERZOCHE STOFLEESWIJZER BIJ DE RESULTATEN

In dit hoofdstuk worden de resultaten getoond voor de onderzochte hulpstoffen. Per hulpstof geven we de volgende berekende waarden aan:

- GER-waarde, in MJ/kg;
- GER-waarde, deel niet-hernieuwbare energie;
- GER-waarde, deel hernieuwbare energie;
- ReCiPe-score, in decipunten per kg stof.

Daar waar het een Ecoinvent-proces betreft, is ook de (Engelstalige) naam van het proces weergegeven.

De volledige lijst van geactualiseerde GER-waarden, inclusief een nadere uitsplitsing van de componenten van de GER-waarde en de ReCiPe-milieuscores, is opgenomen in Hoofdstuk 6.

3.6.1 TOELICHTING EN LEESWIJZER BOOMSTRUCTUUR

Bij elk resultaat is een boomstructuur toegevoegd van de ReCiPe-score. De figuur is een visuele weergave van de keten: het toont de voornaamste processen en stoffen die bijdragen aan de totale milieuscore. De volledige boomstructuur is te uitgebreid om in zijn geheel te tonen: het meest informatieve deel wordt getoond, waarbij het 'cut-off-percentage' wordt vermeld. Alle onderdelen met een bijdrage lager dan dit percentage worden niet getoond. Een boomstructuur is een figuur die met SimaPro is gegenereerd op basis van de modellering en de ReCiPe-analyse. Dit verklaart de Engelse benamingen.

Met ijzerchloride als voorbeeld wordt hier besproken hoe de boomstructuren, die van elke stof zijn gemaakt, gelezen kunnen worden.

WAT IS DE BOOMSTRUCTUUR?

Bij de totstandkoming van een stof spelen verschillende aspecten een rol, zoals productieprocessen, chemische reacties van stoffen (de bouwstenen), het toevoegen van energie en transport. Al deze aspecten hebben een milieu-impact en dragen bij aan de totale milieu-impact van de stof. In een boomstructuur worden die aspecten weergegeven, die de grootste bijdrage hebben aan de totale ReCiPe-score. Zo ontstaat er een netwerk van alle onderliggende aspecten die een rol spelen bij de totstandkoming van de milieu-impact.

Niet alle onderliggende aspecten worden weergegeven, dat zou een enorm netwerk opleveren, dat niet geschikt is om af te drukken. Daarom is een 'cut-off-percentage' gekozen: alle aspecten die meer dan dit percentage bijdragen worden weergegeven.

EEN BOOMSTRUCTUUR WORDT ALS VOLGT GELEZEN:

Elk blokje representeert een stof of proces. De dikte van de rode pijlen representeren het aandeel van het blokje in de totale milieu-impact. De pijlen die een blokje ingaan, vormen tezamen de milieu-impact van dat blokje. De percentages tonen de bijdrage van het blokje aan de totale ReCiPe-score. De percentages in de blokjes die bijdragen aan de uiteindelijke hulpstof vormen samen 100% (door de cut-off is dit in de figuur vrijwel altijd net iets meer of minder dan 100%). Blokjes kunnen een input zijn voor meerdere andere blokjes.

De boomstructuur van ijzerchloride (Figuur 2), wordt in detail doorgenomen.

Direct onder het blokje ijzerchloride zien we drie blokjes (2 t/m 4). Deze drie aspecten dragen het meest bij aan de milieu-impact van ijzerchloride (1).

Eerst worden de dikste pijlen gevolgd. Het maken van chloorgas middels het kwikcelproces⁸ (2) heeft de meeste invloed. Als een niveau lager wordt gekeken, dan is te zien dat dit vooral komt door het elektriciteitsgebruik (6): er wordt medium voltage elektriciteit gebruikt in het productieproces. Omdat op Europees niveau wordt gekeken (RER), is de gemiddelde Europese elektriciteitsmix gebruikt (UCTE). Dit wordt verkregen via hoogspanning (7), dat op een niveau lager wordt weergegeven. Onder hoogspanning is de Europese elektriciteitsmix (8) te zien, die wordt opgebouwd uit elektriciteit uit verschillende landen. De Duitse en Italiaanse elektriciteitsmixen (9 en 10) heeft het grootste aandeel hierin; andere landen vallen onder de 11% cut-off-grens. De impact van de Duitse elektriciteitsmix wordt grotendeels veroorzaakt door het stoken van bruinkool (11 t/m 13).

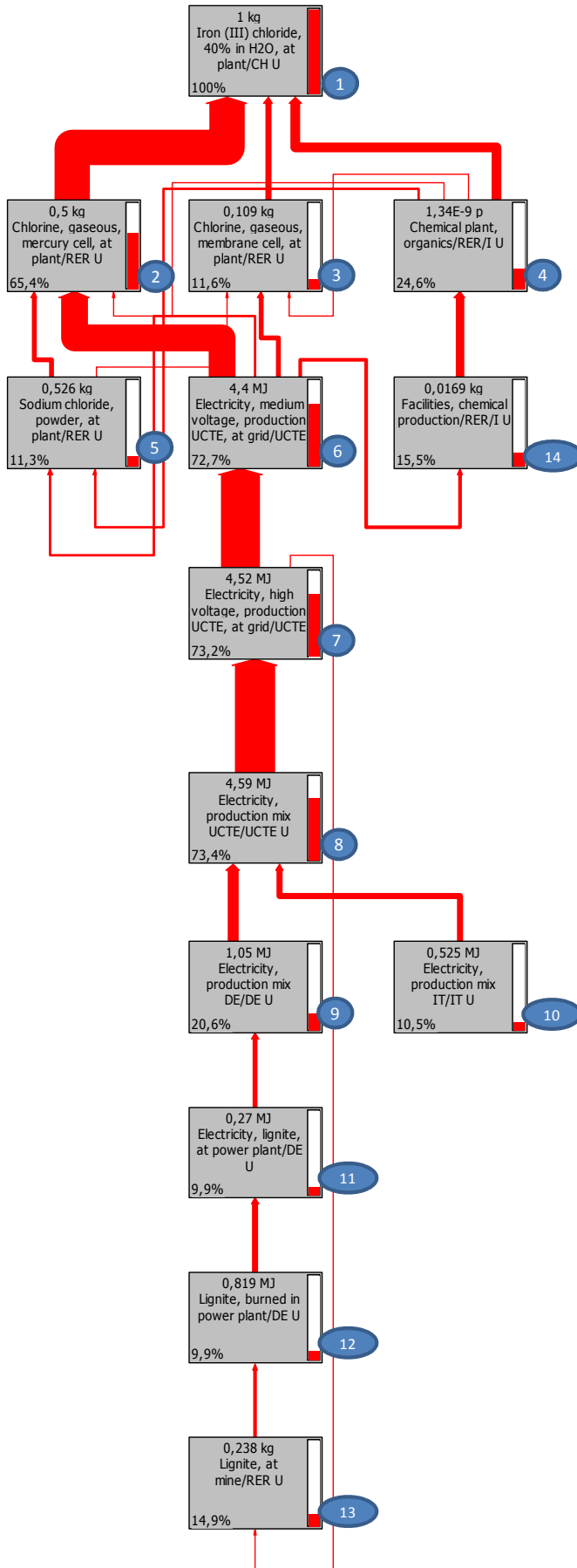
Te zien is dat medium voltage elektriciteit (6) wordt ingezet voor meerdere aspecten: voor beide chloorgasprocessen (2 en 3), voor het gebruik en onderhoud van de fabriek (4, via 14) en voor het productieproces voor natriumchloride (6). De 72,7% die de medium voltage elektriciteit (6) in totaal bijdraagt, wordt verdeeld over deze drie aspecten.

Ook natriumchloride (6) zelf wordt gebruikt in meerdere aspecten, namelijk beide chloorgasprocessen (2 en 3). Dus ook het percentage van natriumchloride (11,3%) wordt verdeeld. De verdeling wordt niet getoond in de boomstructuur, maar aan de pijlen kan worden afgelezen dat er meer natriumchloride naar het kwikcelproces gaat (2) dan naar het membraancelproces (3). Gebruik van de chemische fabriek (4) heeft een aandeel in de productie van chloorgas (2 en 3) en in de productie van ijzerchloride (1).

⁸ Zie Bijlage C voor een toelichting op de productieprocessen van chloor.

FIGUUR 2

IJZERCHLORIDE (FeCl₃), BOOMSTRUCTUUR RECIPE-SCORE, CUT-OFF 10%



4

PRODUCTIE HULPSTOFFEN ECOINVENT

In dit hoofdstuk worden alleen de resultaten gepresenteerd voor stoffen die rechtstreeks voorhanden zijn in de Ecoinvent-database.

4.1 ALUMINIUMSULFAAT ($Al_2(SO_4)_3$)

Aluminiumsulfaat is voorhanden binnen de Ecoinvent-database. De resultaten zijn weergegeven in onderstaande tabel.

TABEL 6 RESULTATEN VOOR ALUMINIUMSULFAAT ($Al_2(SO_4)_3$)

Naam Ecoinvent-proces	GER-waarde (MJ/kg)	GER, niet-hernieuwbaar (MJ/kg)	GER, hernieuwbaar (MJ/kg)	ReCiPe-score (dPt/kg)
Aluminium sulphate, powder, at plant/RER U	9,39	8,93	0,46	0,61

De onderstaande figuur laat de boomstructuur zien van de milieu-impact. Naast de bijdragen van aluminiumhydroxide en zwavelzuur levert het elektriciteitsgebruik de belangrijkste bijdrage.

4.2 ANTISCALANTS

Veel antiscalants die worden gebruikt hebben als werkzame stoffen polycarboxylaten, fosfonaten of een combinatie hiervan. In de oplossing bevindt zich 40-50% actief product. Omdat over de fosfonaten weinig te vinden is, en ook niet over de combinatie met polycarboxylaate, is voor antiscalants uitgegaan van polycarboxylaten.

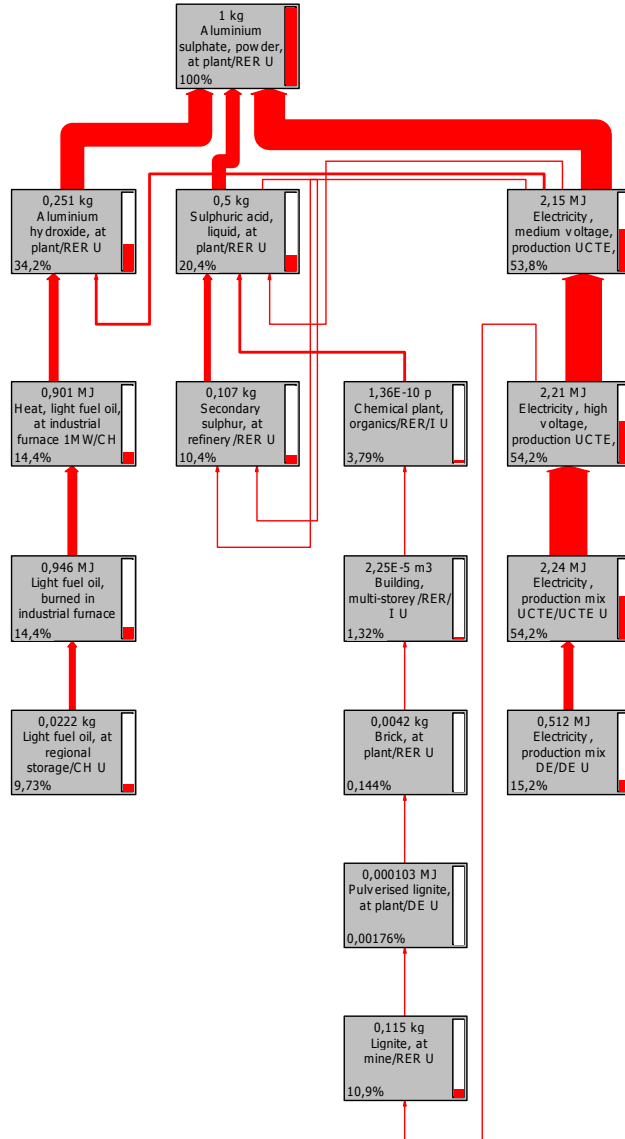
Polycarboxylaten zijn voorhanden binnen de Ecoinvent-database. Het zijn wateroplosbare polymeren die zijn opgebouwd uit acrylzuur of acrylzuur en maleïnezuur⁹. Het Ecoinvent-proces voor polycarboxylaten is op basis van co-polymerisatie van acrylzuur en maleïnezuuranhydride, en is op basis van 40% actieve stof.

De productieroute die in de Ecoinvent-database is aangehouden is weergegeven in figuur 4.

9 Nederlandse Vereniging van Zeepfabrikanten. Is dit product veilig - polycarboxylaten. http://www.isditproductveilig.nl/was_en_reinigingsmiddelen/pages/dictionary.php?page_id=11&dictionary_id=61. geraadpleegd november 2011.

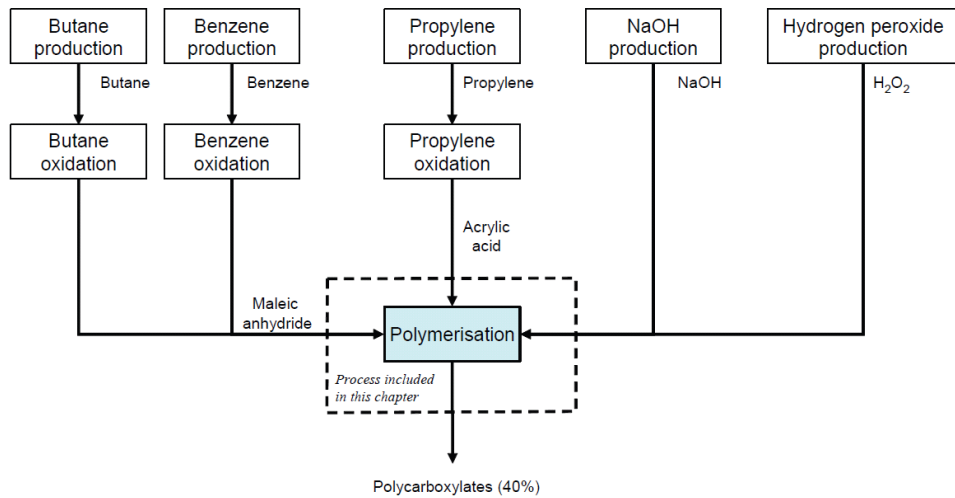
FIGUUR 3

ALUMINIUMSULFAAT (AL₂(SO₄)₃), BOOMSTRUCTUUR VAN DE RECIPE-SCORE (CUT-OFF 9%)



FIGUUR 4

PRODUCTIEROUTE VOOR POLYCARBOXYLATEN (BRON: ECOINVENT DOCUMENTATIE)



De resultaten zijn weergegeven in onderstaande tabel.

TABEL 7 RESULTATEN VOOR ANTISCALANTS

Naam Ecoinvent-proces	GER-waarde (MJ/kg)	GER, niet-hernieuwbaar (MJ/kg)	GER, hernieuwbaar (MJ/kg)	ReCiPe-score (dPt/kg)
Polycarboxylates, 40% active substance, at plant/RER S	29,57	29,00	0,57	1,67

De data in Ecoinvent zijn afkomstig van een EMPA-rapport met een LCA-studie naar wasmiddelen¹⁰, de EMPA-dataset kon niet volledig op unit-niveau in Ecoinvent geïntegreerd worden (vertrouwelijkheid). Een netwerkanalyse middels een boomstructuur van de ReCiPe-score is hierdoor niet mogelijk.

4.3 AZIJNZUUR (CH₃COOH)

Resultaten voor azijnzuur zijn in onderstaande tabel weergegeven.

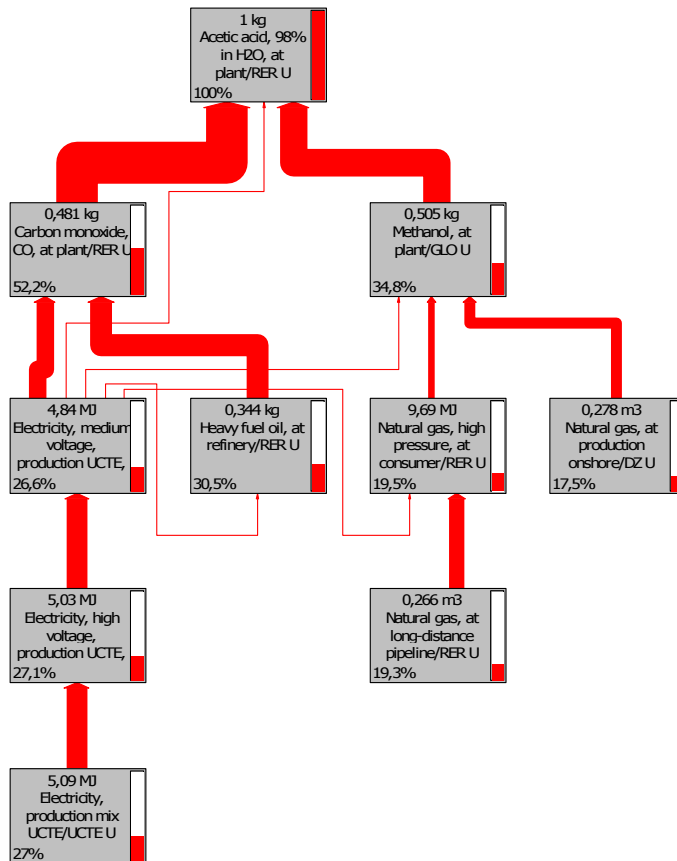
TABEL 8 RESULTATEN VOOR AZIJNZUUR (CH₃COOH)

Naam Ecoinvent-proces	GER-waarde (MJ/kg)	GER, niet-hernieuwbaar (MJ/kg)	GER, hernieuwbaar (MJ/kg)	ReCiPe-score (dPt/kg)
Acetic acid, 98% in H ₂ O, at plant/RER S	53,4	52,2	1,1	2,8

De netwerkanalyse geeft aan dat de milieu-impact van het proces bepaald wordt door de productie van methanol (aardgas) en die van koolstofmonoxide uit elektriciteit (productiemix UCTE) en zware stookolie.

Ecoinvent bevat geen informatie over azijnzuur van biologische oorsprong.

10 Dall'acqua S, Fawer M, Fritschi R, Allenspach C (1999): Life cycle inventories for the production of detergent ingredients. Nr 244. EMPA, St Gallen.

FIGUUR 5 AZIJNZUUR (CH₃COOH), BOOMSTRUCTUUR RECIPE-SCORE, CUT-OFF 15%

4.4. BIO-ETHANOL

Resultaten voor bio-ethanol kunnen uit Ecoinvent worden verkregen. Deze zijn in onderstaande tabel weergegeven.

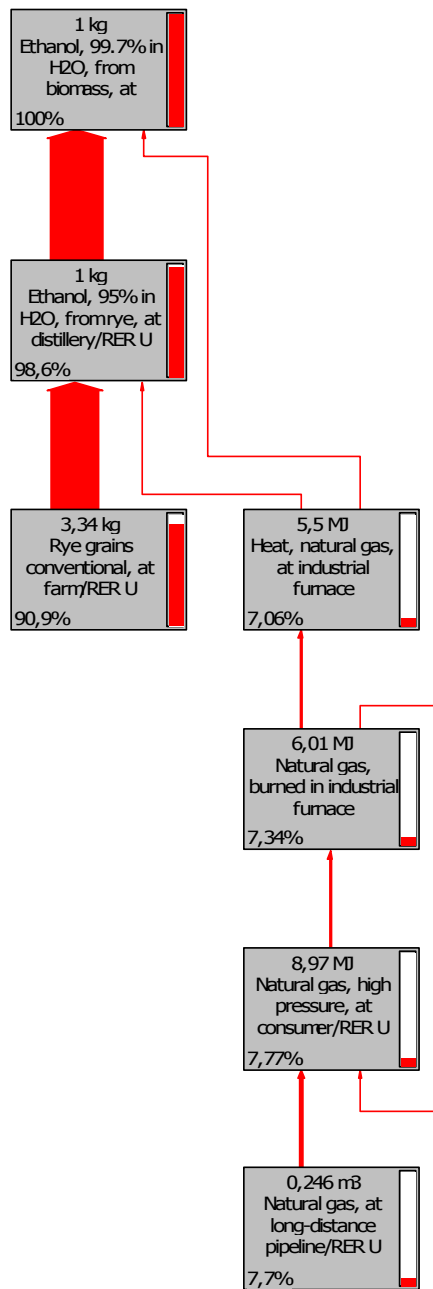
TABEL 9 RESULTATEN VOOR BIO-ETHANOL

Naam Ecoinvent-proces	GER-waarde (MJ/kg)	GER, niet-hernieuwbaar (MJ/kg)	GER, hernieuwbaar (MJ/kg)	ReCiPe-score (dPt/kg)
Ethanol, 99.7% in H ₂ O, from biomass, at distillation/RER S	70,7	23,2	47,5	6,4

De figuur geeft aan dat de milieu-impact van het proces vooral ontstaat bij het landbouwproces. In dit geval is dat het telen van rogge. Bio-ethanol kan natuurlijk uit diverse biofeedstocks gemaakt worden. De documentatie van het Ecoinvent-proces vermeldt dat de impact van de productie van bio-ethanol uit rogge zeer goed vergelijkbaar is met de productie uit andere granen en ook met bio-ethanol uit maïs (droge maling).

FIGUUR 6

BIO-ETHANOL, BOOMSTRUCTUUR RECIPE-SCORE, CUT-OFF 7%



4.5. BROXO ZOUT (NaCl)

Broxo[®] zout is 99,9% gezuiverd NaCl van specifieke kristalstructuren, en geperst in pellets of blokken. Het basismateriaal is zuiver vacuümzout, dit is voorhanden in de Ecoinvent-database. De energie van de compressie van het zout tot pellets en blokken is niet meegenomen in onderstaande waarden, de gegevens hiervoor ontbreken. Het is niet te verwachten dat dit een zeer grote onderschatting met zich meebrengt.

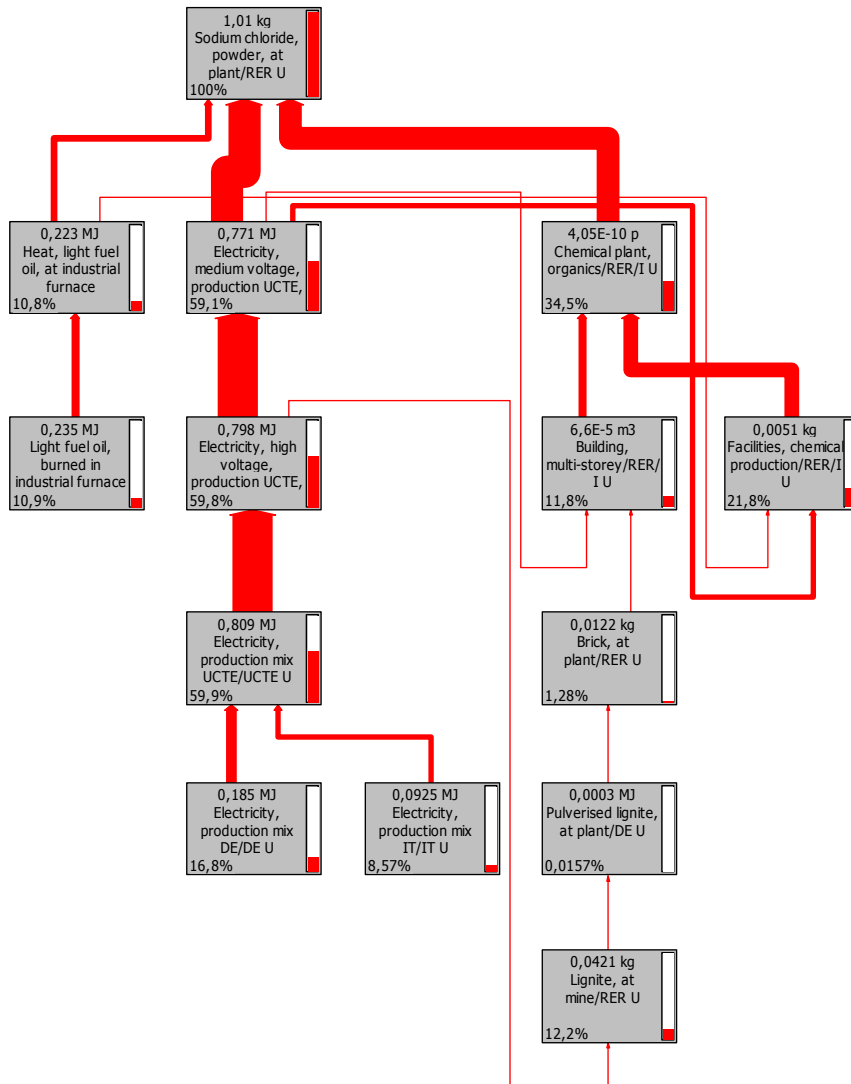
Onderstaande waarden zijn kenmerkend voor bulkverpakkingen, bij het verpakken in kleinere eenheden, bijvoorbeeld in 10 of 25 kg kunststof zakken, moet het verpakkingsmateriaal ook meegenomen worden.

De resultaten zijn weergegeven in onderstaande tabel.

TABEL 10 RESULTATEN VOOR BROXO ZOUT (NACL)

Naam Ecoinvent- proces	GER-waarde (MJ/kg)	GER, niet- hernieuwbaar (MJ/kg)	GER, hernieuwbaar (MJ/kg)	ReCiPe-score (dPt/kg)
Sodium chloride, powder, at plant/RER U	3,31	3,07	0,24	0,20

FIGUUR 7 BROXO ZOUT (NACL), BOOMSTRUCTUUR VAN DE RECIPE-SCORE (CUT-OFF 8,5%)



4.6 CALCIUMOXIDE (CAO)

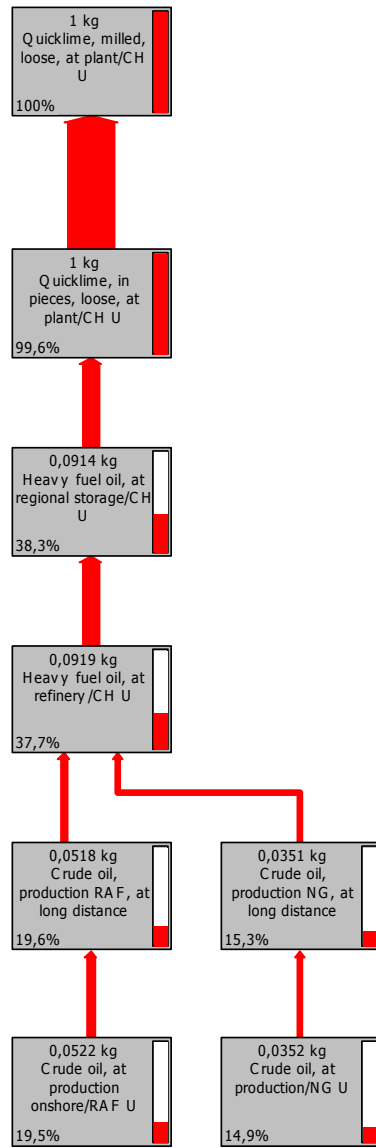
Calciumoxide (ongeblyste kalk, Engels: 'quicklime' of 'burnt lime') is voorhanden binnen de Ecoinvent-database. De resultaten zijn weergegeven in onderstaande tabel.

TABEL 11 RESULTATEN VOOR CALCIUMOXIDE (CAO)

Naam Ecoinvent-proces	GER-waarde (MJ/kg)	GER, niet-hernieuwbaar (MJ/kg)	GER, hernieuwbaar (MJ/kg)	ReCiPe-score (dPt/kg)
Quicklime, milled, loose, at plant/CH U	5,82	5,50	0,32	0,62

In het proces voor calciumoxide wijst de netwerkanalyse, weergegeven in de onderstaande figuur, dat de grootste bijdrage in de stookolie zit voor de machines die gebruikt worden in het winnen van kalksteen en het verwerken (verbranden) tot calciumoxide in kalkovens.

FIGUUR 8 CALCIUMOXIDE (CAO), BOOMSTRUCTUUR VAN DE RECIPE-SCORE (CUT-OFF 10%)



4.7 CHLOOR (CL2)

Chloor is voorhanden binnen de Ecoinvent-database. Chloor wordt samen met natronloog (en waterstof) gemaakt uit de electrolyse van een zoutoplossing (pekkel). Er zijn een aantal processen: het kwikproces, diafragmaproces en membraanproces. Het membraanproces is het meest milieuvriendelijk door het laagste elektriciteitsgebruik en de laagste emissies, en is momenteel de productiewijze die de voorkeur geniet. Het kwikproces was van oudsher dominant in Europa maar wordt uitgefaseerd. Zie verder Bijlage C voor meer informatie over de productieprocessen voor natronloog en chloor. In de onderstaande tabel is de productiemix opgenomen. Om de verschillen tussen het membraanproces en het kwikproces inzichtelijk te maken zijn deze ook opgenomen in de tabel

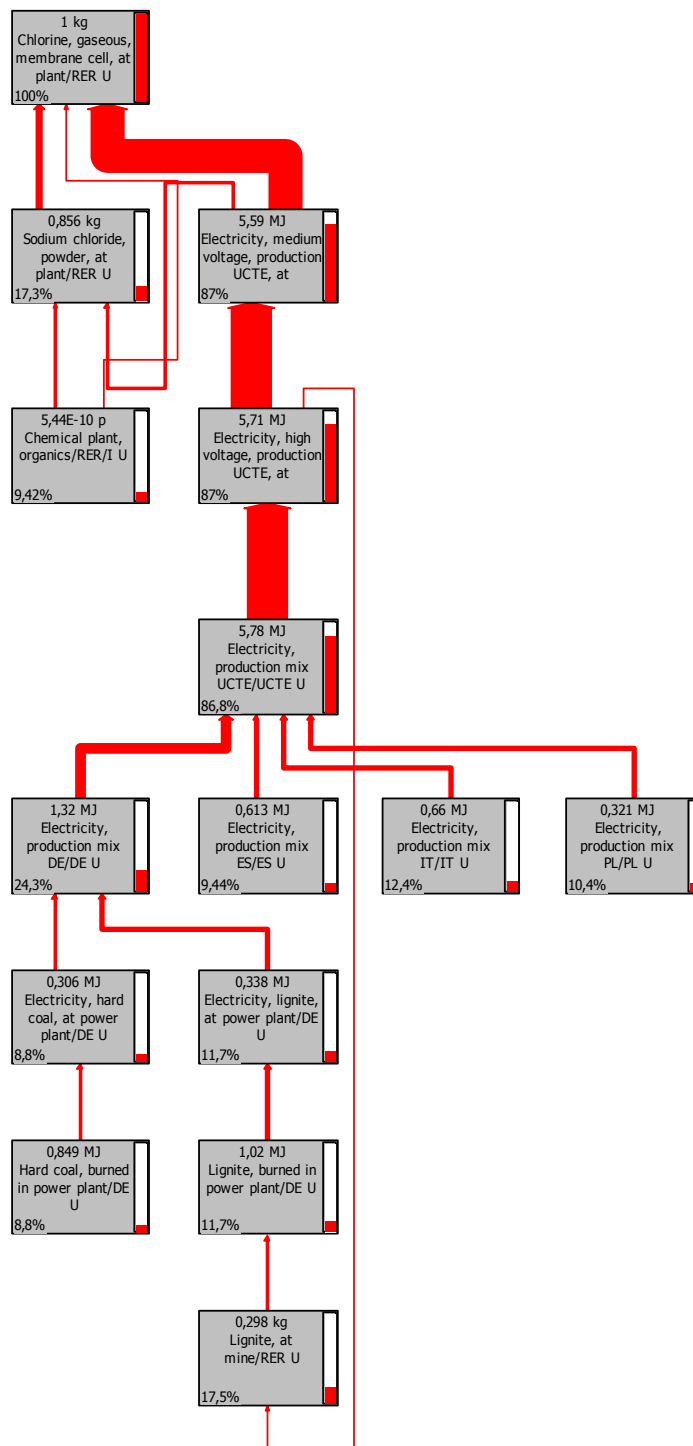
TABEL 12 RESULTATEN VOOR CHLOOR (CL2)

Naam Ecoinvent-proces	GER-waarde (MJ/kg)	GER, niet-hernieuwbaar (MJ/kg)	GER, hernieuwbaar (MJ/kg)	ReCiPe-score (dPt/kg)
Chlorine, gaseous, membrane cell, at plant/RER U	18,94	17,74	1,21	0,98
Chlorine, gaseous, mercury cell, at plant/RER U	22,59	21,16	1,43	1,21
Chlorine, liquid, production mix, at plant/RER U	21,88	20,50	1,39	1,15

De netwerkanalyse laat zien dat de impacts grotendeels zitten in het elektriciteitsgebruik, waarbij de bulk zit in het elektriciteitsgebruik bij het elektrolyseproces. De zoutproductie is ook een factor in de milieuscore, ook daarbij wordt elektriciteit gebruikt.

FIGUUR 9

CHLOOR (CL2) MEMBRAANPROCES, BOOMSTRUCTUUR VAN DE RECIPE-Score (CUT-OFF 8%)



4.8 CHLOORBLEEKLOOG (NAOCL)

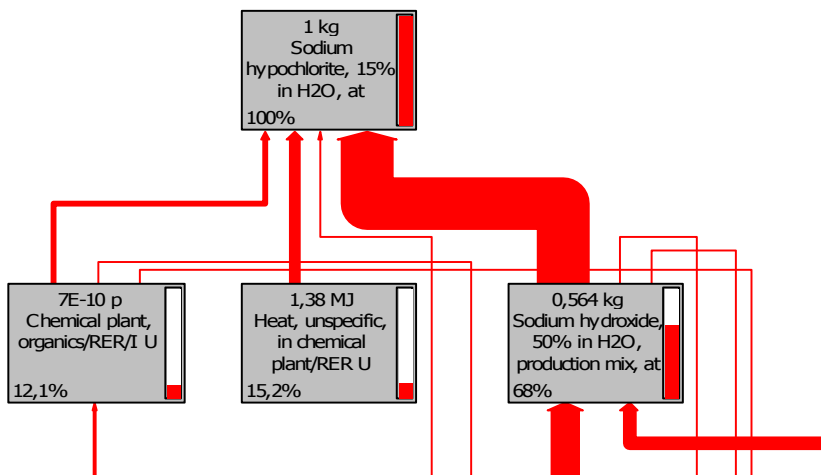
Chloorbleekloog, ook wel geheten natriumhypochloriet genoemd, is voorhanden binnen de Ecoinvent-database. De resultaten zijn weergegeven in onderstaande tabel.

TABEL 13 RESULTATEN VOOR CHLOORBLEEKLOOG (NAOCL)

Naam Ecoinvent-proces	GER-waarde (MJ/kg)	GER, niet-hernieuwbaar (MJ/kg)	GER, hernieuwbaar (MJ/kg)	ReCiPe-score (dPt/kg)
Sodium hypochlorite, 15% in H ₂ O, at plant/ RER S	17,5	16,4	1,0	1,0

De milieu-impact van de 15% NaOCl-oplossing wordt voor ongeveer 70% door de productie van natronloog veroorzaakt, zie Figuur 10. De figuur is afgeknipt onder de productie van natronloog, zie voor de analyse van die stof paragraaf 3.3 hierboven.

FIGUUR 10 CHLOORBLEEKLOOG (NAOCL), BOOMSTRUCTUUR RECIPE-SCORE, CUT-OFF 13%



4.9 DIAMMONIUMFOSFAAT ($(NH_4)_2HPO_4$)

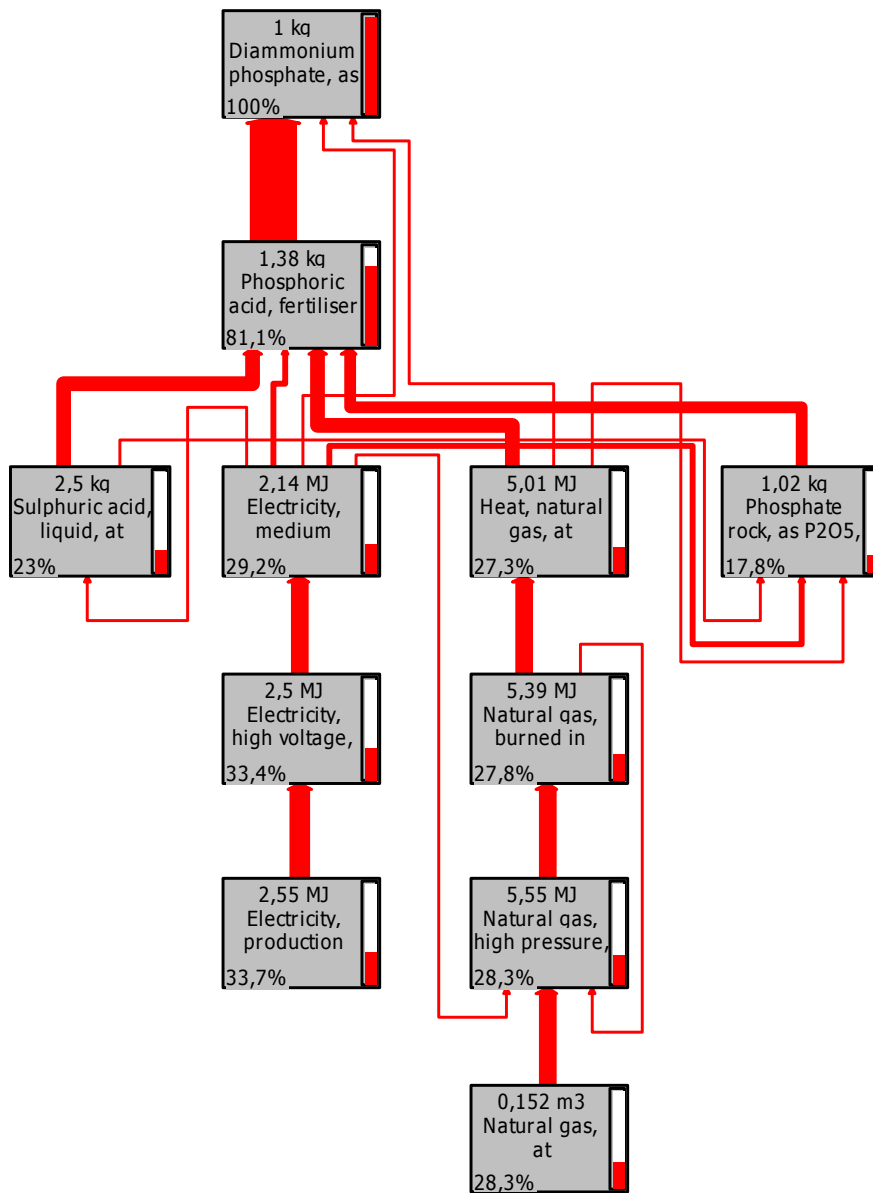
Diammoniumfosfaat (ammoniumwaterstoffosfaat) heeft als formule $(NH_4)_2HPO_4$.¹¹ De stof is voorhanden in Ecoinvent als ‘Diammonium phosphate, as P_2O_5 , at regional storehouse/RER’.

TABEL 14 RESULTATEN VOOR DIAMMONIUMFOSFAAT ($(NH_4)_2HPO_4$)

Naam Ecoinvent-proces	GER-waarde (MJ/kg)	GER, niet-hernieuwbaar (MJ/kg)	GER, hernieuwbaar (MJ/kg)	ReCiPe-score (dPt/kg)
Diammonium phosphate, as P_2O_5 , at regional storehouse/RER	23,1	22,2	0,9	2,2

De milieu-impacts vallen wat lager uit dan de SSP en TSP in paragraaf 4.10. De netwerkanalyse is hieronder weergegeven.

FIGUUR 11 DIAMMONIUMFOSFAAT ($(NH_4)_2HPO_4$), BOOMSTRUCTUUR RECIPE-SCORE, CUT-OFF 15%



11 http://en.wikipedia.org/wiki/Diammonium_phosphate

4.10 DICALCIUMFOSFAAT (CALCIUMHYDROPHOSPHAAT, CaHPO_4)

Calciumhydrofosfaat, CaHPO_4 , is niet rechtstreeks in Ecoinvent voorhanden.

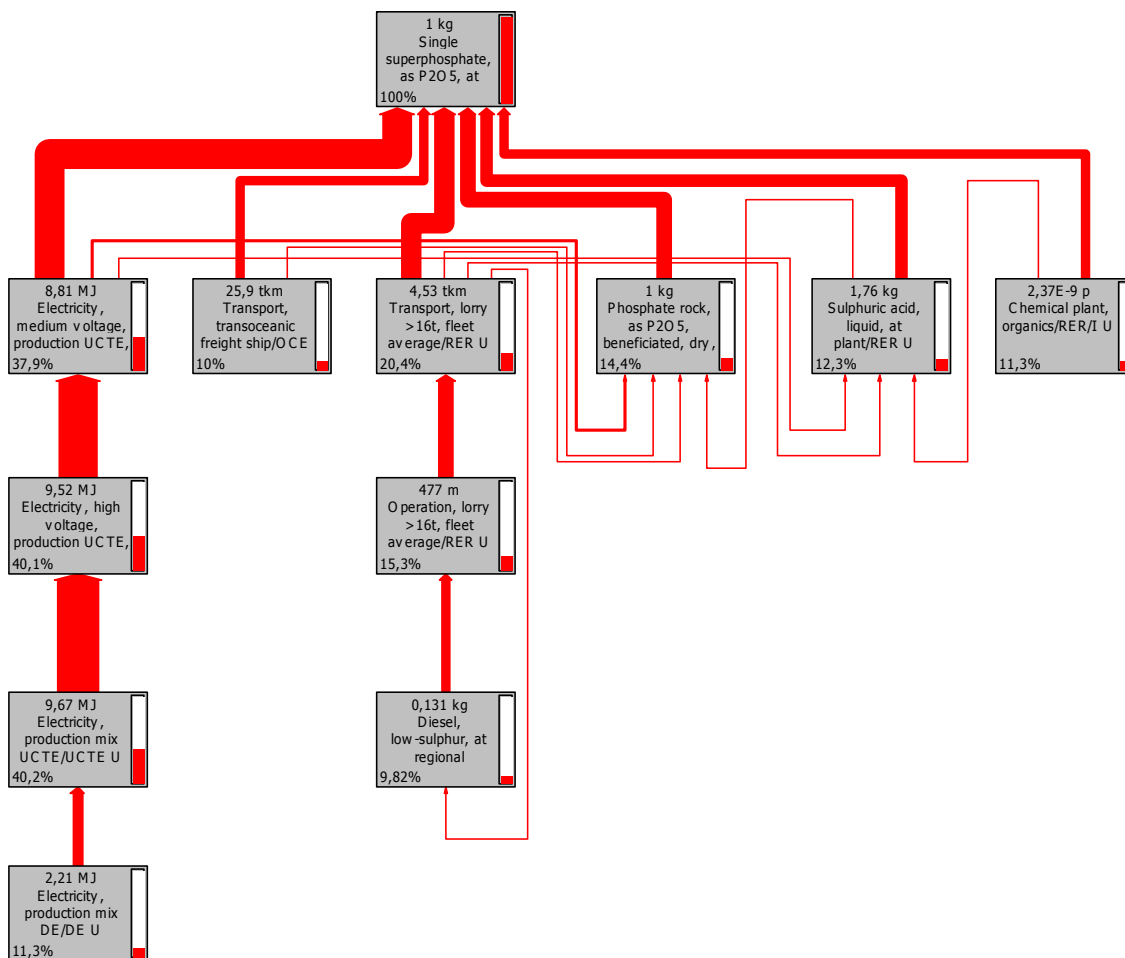
Een goede proxy is calciumdihydrofosfaat (superfosfaat): dit zijn ook calcium-waterstoffosfaten met een iets andere molecuulformule.¹²

Ecoinvent biedt de opties single superphosphate (SSP) en triple superphosphate (TSP). De formule is in beide gevallen $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, ofwel calciumdihydrofosfaat. SSP wordt gemaakt van zwavelzuur en rotsfosfaat, bij TSP wordt in plaats van zwavelzuur fosforzuur gebruikt (verhouding 70% fosforzuur: 30% rotsfosfaat). Door het gebruik van fosforzuur ontstaat een hogere concentratie fosfor. De berekende impacts van deze stoffen zijn hieronder weergegeven:

TABEL 15 RESULTATEN VOOR DICALCIUMFOSFAAT (CALCIUMHYDROPHOSPHAAT, CaHPO_4)

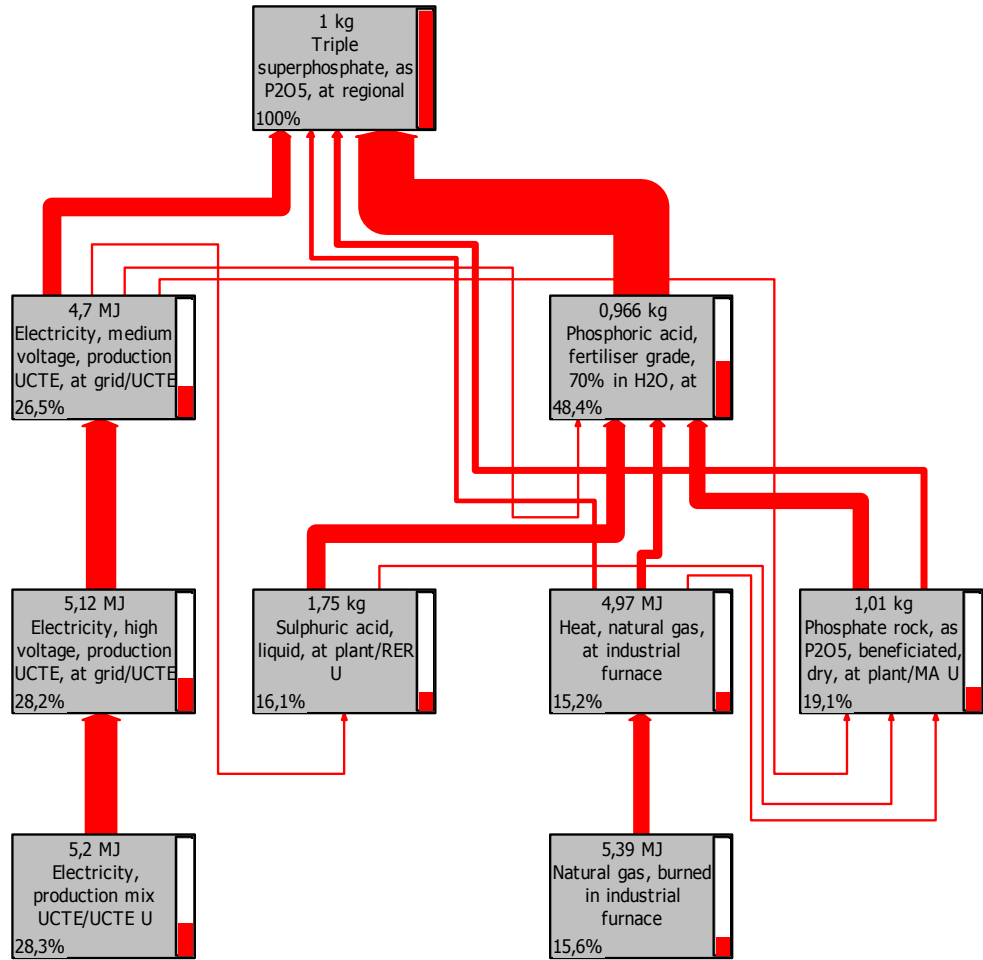
Naam Ecoinvent-proces	GER-waarde (MJ/kg)	GER, niet-hernieuwbaar (MJ/kg)	GER, hernieuwbaar (MJ/kg)	ReCiPe-score (dPt/kg)
Single superphosphate, as P2O5, at regional storehouse/RER U	49,3	46,7	2,6	3,5
Triple superphosphate, as P2O5, at regional storehouse/RER U	33,7	32,2	1,5	2,7

FIGUUR 12 SSP, BOOMSTRUCTUUR RECIPE-SCORE, CUT-OFF 9,8%



12 Dicalciumfosfaat/calciumhydrofosfaat: <http://de.wikipedia.org/wiki/Calciumhydrogenphosphat>.
Monocalciumfosfaat: http://en.wikipedia.org/wiki/Monocalcium_phosphate.

FIGUUR 13 TSP, BOOMSTRUCTUUR RECIPE-SCORE, CUT-OFF 13%



4.11 GASOLIE ROOD (AGGREGAAT)

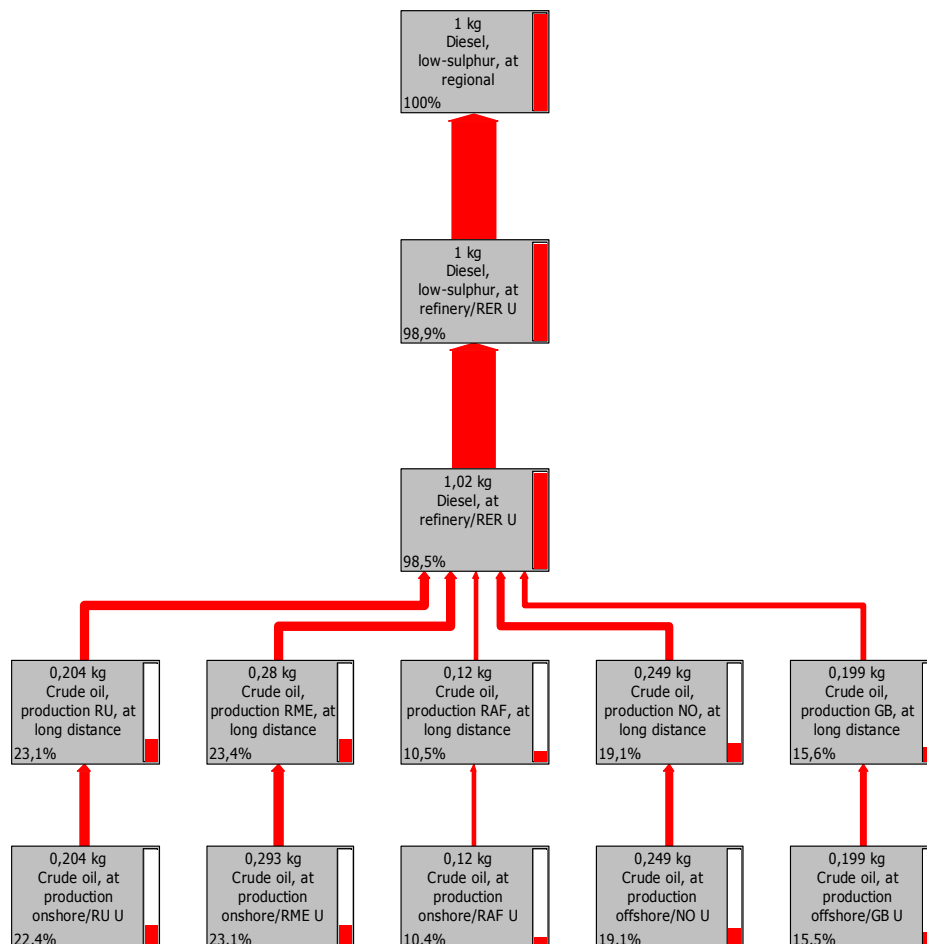
Voor gasolie nemen we diesel, de meest gebruikte brandstof in aggregaten. Rode diesel is chemisch identiek aan normale diesel behalve dan dat er een kleurstof (bijvoorbeeld ferferol/caroteen) en/of een merkstof aan toegevoegd is. De dosering van kleur/merkstof is zo laag dat in de milieu-impact scores van de productie niet betekenisvol is. Diesel is voorhanden binnen de Ecoinvent-database. De resultaten zijn weergegeven in onderstaande tabel.

TABEL 16 RESULTATEN VOOR GASOLIE ROOD (AGGREGAAT)

Naam Ecoinvent-proces	GER-waarde (MJ/kg)	GER, niet-hernieuwbaar (MJ/kg)	GER, hernieuwbaar (MJ/kg)	ReCiPe-score (dPt/kg)
Diesel, low-sulphur, at regional storage/RER U	54,78	54,65	0,13	2,65

De onderstaande figuur laat de boomstructuur zien van de milieu-impact. De processen bij de raffinage en de winning van de verschillende soorten ruwe olie zijn de belangrijkste bijdragen aan de milieu-impacts.

FIGUUR 14 GASOLIE ROOD (AGGREGAAT), BOOMSTRUCTUUR VAN DE RECIPE-SCORE (CUT-OFF 10%)



4.12 GLYCERINE

Glycerine is op een tweetal manieren voorhanden in Ecoinvent, enerzijds via productie uit epichloorhydrine, anderzijds via een plantaardig proces uit koolzaadolie. De GER-waarde is in beide gevallen hoog; de milieubelasting is groter bij het biologische proces.

TABEL 17 RESULTATEN VOOR GLYCERINE

Naam Ecoinvent-proces	GER-waarde (MJ/kg)	GER, niet-hernieuwbaar (MJ/kg)	GER, hernieuwbaar (MJ/kg)	ReCiPe-score (dPt/kg)
Glycerine, from epichlorohydrin, at plant/RER S	102,4	98,5	3,9	5,9
Glycerine, from rape oil, at esterification plant/RER S	100,0	34,5	65,5	7,7

Voor beide productiewijzen is een figuur met een netwerkanalyse opgenomen.

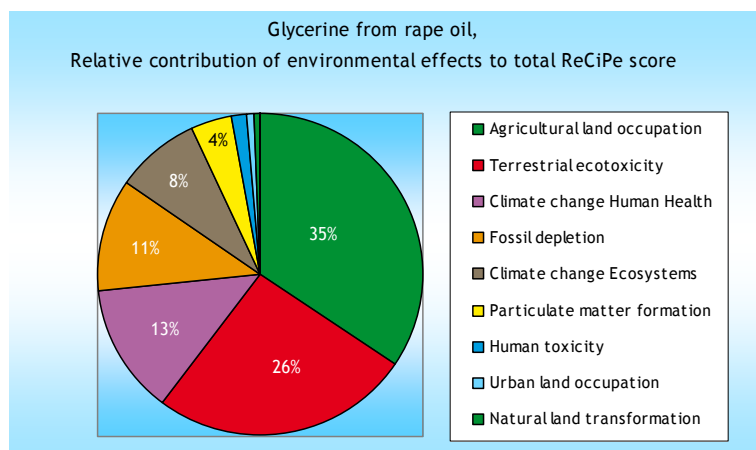
De linker figuur toont de productie uit epichloorhydrine; de 'fossiele route'. De milieupact wordt door een aantal processtappen bepaald. Belangrijk zijn:

- het proces voor glycerine zelf (endotherm: 22% van de milieupact komt uit 'heat, unspecified' - dit is stoom uit een mix van energiedragers);
- de productie van propaan;
- de productie van chloor (en dus elektriciteit uit productiemix UCTE).

De rechterfiguur toont de boomstructuur van de milieupact van de productie van glycerine uit koolzaadolie. De milieupact wordt hier grotendeels bepaald door het verbouwen van het koolzaad.

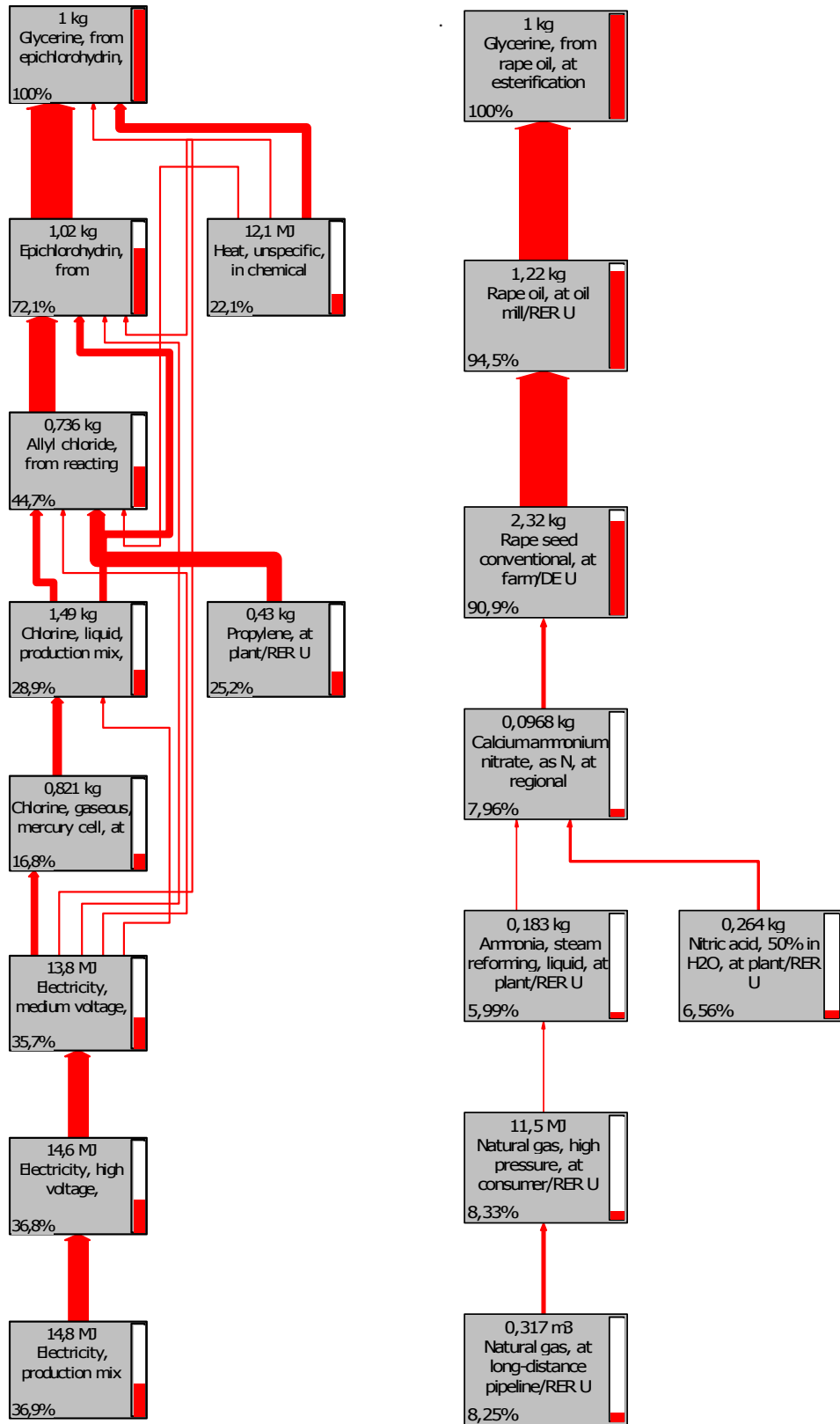
Het taartdiagram toont voor dit proces de verschillende milieueffecten die bijdragen aan de totale ReCiPe-score. Opvallend is dat landgebruik het meest prominente effect is. Reden hiervoor is de transformatie van natuurlijk grasland tot akkerland in verband met de uitbreiding van de productie in het afgelopen decennium. Deze verandering van landgebruik gaat met een biodiversiteitverlies gepaard dat in de ReCiPe-methodologie uitgedrukt wordt als een milieupact. Het effect 'ecotoxiciteit, bodem' komt op de tweede plaats en wordt veroorzaakt door gebruik van meststoffen en pesticiden. Klimaatimpact en uitputting van fossiele bronnen worden veroorzaakt door energie- en brandstofverbruik bij de teelt van koolzaad en productie van olie en glycerine.

FIGUUR 15 MILIEUEFFECTEN DIE BIJDAGEN AAN DE TOTALE RECIPE-SCORE



FIGUUR 16

GLYCERINE, BOOMSTRUCTUUR RECIPE-SCORE; CUT-OFF 15% RESP. 5,7%



4.13 HARDOVENCOKES

Hardovencokes¹³ zijn voorhanden binnen de Ecoinvent-database. Het Ecoinvent-proces is gespecificeerd per MJ. De Ecoinvent-documentatie vermeldt dat hardovencokes een stookwaarde (LHV) van 28,6 MJ/kg heeft. Vandaar dat de analyse is gedaan voor 28,6 MJ (LHV) aan hardovencokes, wat zodoende gelijk staat aan 1 kg.

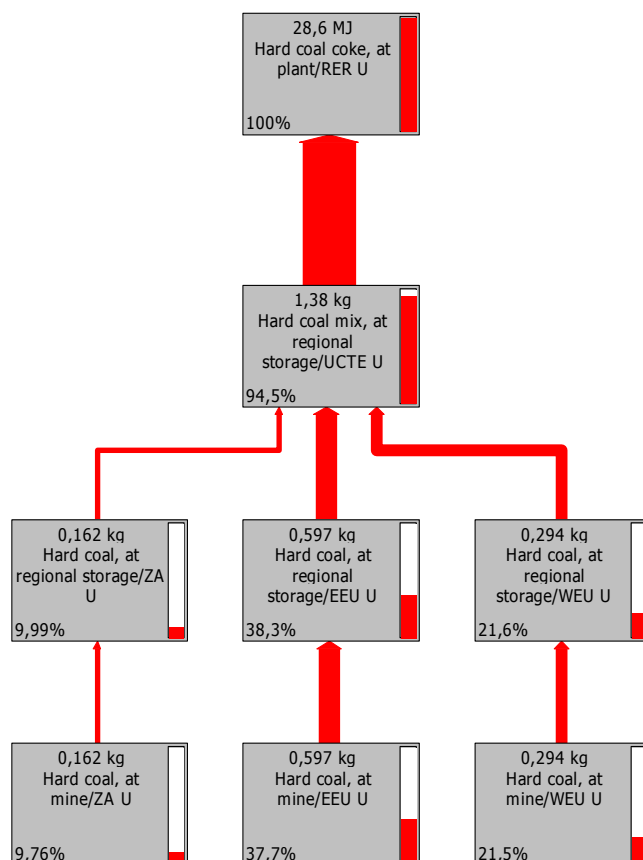
TABEL 18 RESULTATEN VOOR HARDOVENCOKES

Naam Ecoinvent-proces	GER-waarde (MJ/kg)	GER, niet-hernieuwbaar (MJ/kg)	GER, hernieuwbaar (MJ/kg)	ReCiPe-score (dPt/kg)
Hard coal coke, at plant/RER S	40,2	39,9	0,3	2,1

De figuur geeft aan dat een mix van kolensoorten en het winnen daarvan belangrijk zijn. Kolen uit Centraal- en Oost-Europa (EEU) leveren hierbij de grootste bijdrage.

N.B. De milieuschade van de verschillende soorten steenkool verschilt in ReCiPe-scores niet sterk van elkaar. (Wel kan er tussen de verschillende soorten steenkool onderling sprake zijn van een verschuiving van de effecten op de impactcategorieën.)

FIGUUR 17 HARDOVENCOKES, BOOMSTRUCTUUR RECIPE-SCORE, CUT-OFF 9%



13 Specificaties van <http://www.cokeoven.co.in/>.

4.14 HOUTCHIPS

Houtchips worden in Ecoinvent gedefinieerd per m³ en bevatten een mix (28-72%) van Europees hardhout en zacht hout (beuk en spar).

De 'u' geeft het vochtgehalte aan, waarbij u=0% het drogestofgehalte is. Het vochtgehalte is hoog (120%), omdat Ecoinvent ervan uitgaat dat het hout direct na kap wordt verhakseld. Als het hout wordt gedroogd (aan lucht of mechanisch) zakt het vochtgehalte, volgens Ecoinvent tot 20%.

Het gewicht aan droge stof (u=0%) bedraagt 188 kg/m³ (Ecoinvent). Via onderstaande formule kan worden bepaald wat het gewicht is bij een bepaald vochtgehalte:

$$(\text{gewicht} - \text{droog gewicht}) / \text{droog gewicht} * 100 = u$$

In het geval van u=120%, komt het gewicht van ongedroogde houtchips uit op 415 kg/m³. Voor deze waarde zijn de GER-waarde en ReCiPe-score gegeven. Bij lager vochtgehalte daalt het gewicht per m³ en zullen de GER-waarde en ReCiPe-score per kg hoger liggen. Formule: Score = 20,7 * 415/gewicht.

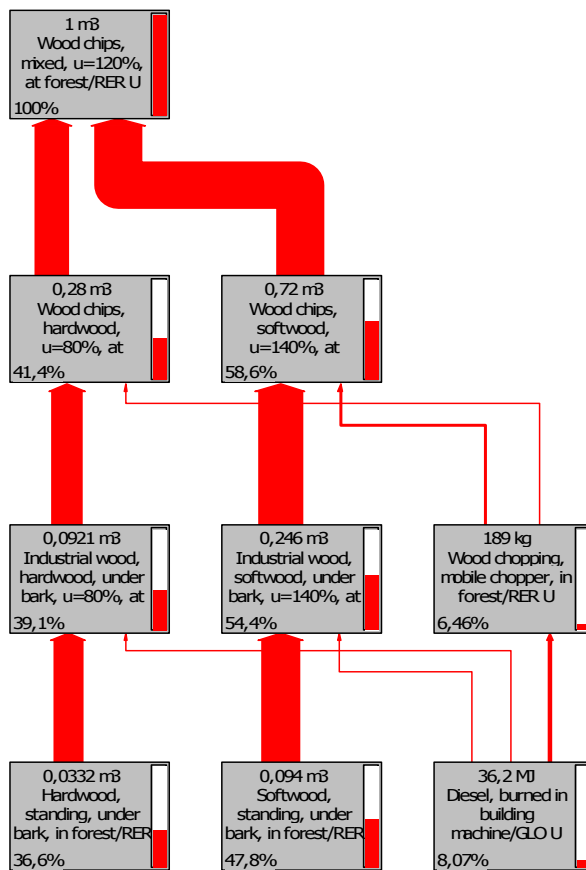
Met behulp van de twee genoemde formules zijn ook de scores berekend voor aan lucht gedroogde houtchips en compleet droge houtchips.

TABEL 19 RESULTATEN VOOR HOUTCHIPS

Naam Ecoinvent-proces	GER-waarde (MJ/kg)	GER, niet-hernieuwbaar (MJ/kg)	GER, hernieuwbaar (MJ/kg)	ReCiPe-score (dPt/m ³)
Wood chips, mixed, u=120%, at forest/RER S	20,7	0,47	20,2	0,26
Wood chips, u= 20% (gedroogd aan lucht)	38.0	0,86	30.1	0.47
Wood chips, u=0%	45.5	1.0	44.5	0.57

De figuur geeft aan dat de milieu-impact van het proces voornamelijk toegerekend wordt aan de processen "...wood, standing, under bark, in forest". Dit heeft te maken met de impact-categorie "gebruik van landbouwgrond" (ongeveer 85% van de totale impact) en daarmee de vermindering van biodiversiteit als zodanig.

FIGUUR 18 HOUTCHIPS, BOOMSTRUCTUUR RECIPE-SCORE, CUT-OFF 6%



4.15 IJZERCHLORIDE (FeCl₃)

Ijzerchloride is voorhanden binnen de Ecoinvent-database. De resultaten zijn weergegeven in onderstaande tabel.

TABEL 20 RESULTATEN VOOR IJZERCHLORIDE (FECL3)

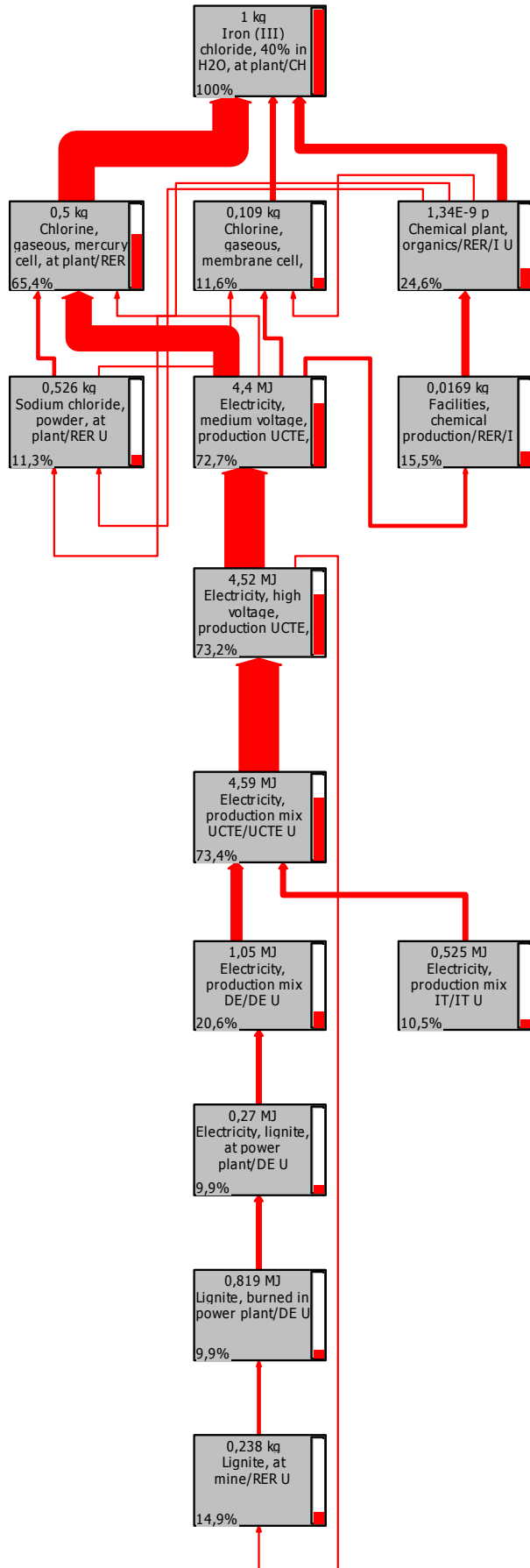
Naam Ecoinvent-proces	GER-waarde (MJ/kg)	GER, niet-hernieuwbaar (MJ/kg)	GER, hernieuwbaar (MJ/kg)	ReCiPe-score (dPt/kg)
Iron (III) chloride, 40% in H ₂ O, at plant/CH S	16,3	15,2	1,2	0,9

De figuur geeft aan dat de milieu-impact van het proces voornamelijk ontstaat uit de chloorproductie, en dan vooral het kwikelektrolyseproces. Dat proces gebruikt elektriciteit en geeft emissies. Daarnaast vinden veel milieuschadelijke emissies plaats tijdens de opwekking van die elektriciteit (productiemix UCTE¹⁴). Zie de opmerkingen van Bijlage C over de productieprocessen voor chloor.

14 UCTE is de Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity. Dit is het gesynchroniseerde hoogspanningsnet van continentaal Europa, exclusief voormalige Sovjet-Unie en exclusief de NORDEL-landen (Noorwegen, Zweden, Finland).

FIGUUR 19

IJZERCHLORIDE (FeCl₃), BOOMSTRUCTUUR RECIPE-SCORE, CUT-OFF 10%



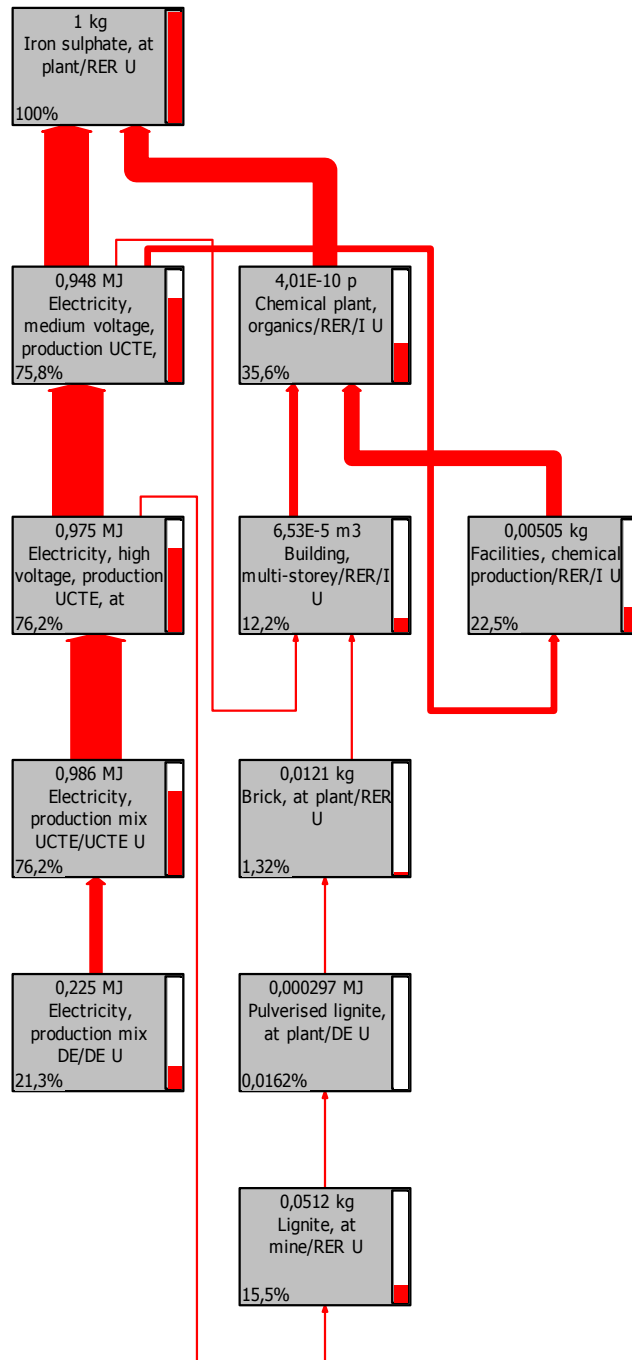
4.16 IJZERSULFAAT (FE2SO4)

TABEL 21 RESULTATEN VOOR IJZERSULFAAT (FE2SO4)

Naam Ecoinvent-proces	GER-waarde (MJ/kg)	GER, niet-hernieuwbaar (MJ/kg)	GER, hernieuwbaar (MJ/kg)	ReCiPe-score (dPt/kg)
Iron sulphate, at plant/RER S	3,4	3,2	0,3	0,2

De figuur geeft aan dat de milieu-impact van het proces voornamelijk ontstaat uit de elektriciteit, productiemix UCTE. Het gebruik van de fabriek zelf (“Chemical plant, organics”) levert ook een significante bijdrage.

FIGUUR 20 IJZERSULFAAT (FE2SO4)BOOMSTRUCTUUR RECIPE-SCORE, CUT-OFF 11%



4.17 KALKHYDRAAT (Ca(OH)₂)

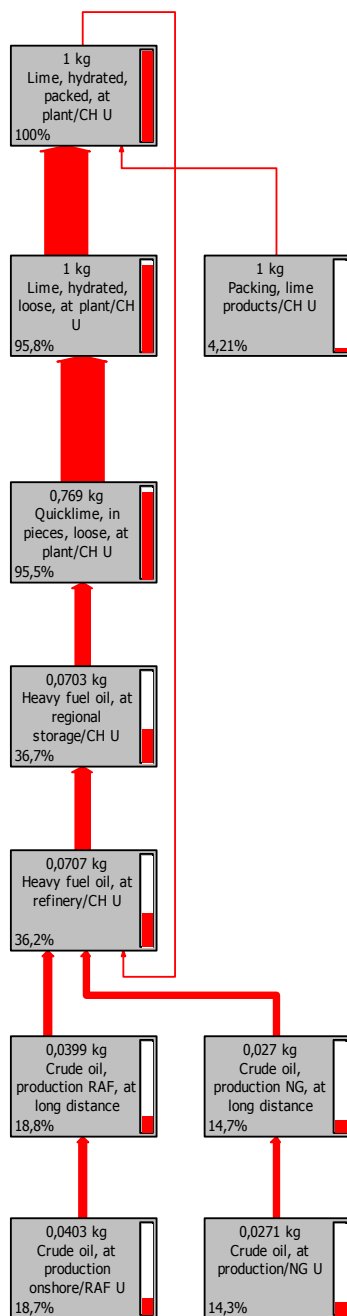
Geblaste kalk is voorhanden in de Ecoinvent-database

TABEL 22 RESULTATEN VOOR KALKHYDRAAT (CA(OH)₂)

Naam Ecoinvent-proces	GER-waarde (MJ/kg)	GER, niet-hernieuwbaar (MJ/kg)	GER, hernieuwbaar (MJ/kg)	ReCiPe-score (dPt/kg)
Lime, hydrated, loose, at plant/CH S	4,4	4,2	0,2	0,5
Lime, hydrated, packed, at plant/CH S	4,8	4,3	0,5	0,5

De figuur geeft aan dat de milieu-impact van het proces voornamelijk ontstaat uit de productie van ongebluste kalk (quicklime), hiervoor wordt heavy fuel oil gebruikt (figuur voor de 'packed' variant weergegeven, de figuur voor 'loose' is nagenoeg identiek).

FIGUUR 21 KALKHYDRAAT (CA(OH)₂), BOOMSTRUCTUUR RECIPE-SCORE, CUT-OFF 3%



4.18 KALKSTEEN EN KRIJLT (REACTIEF CAC03)

Kalksteen is voorhanden binnen de Ecoinvent-database.

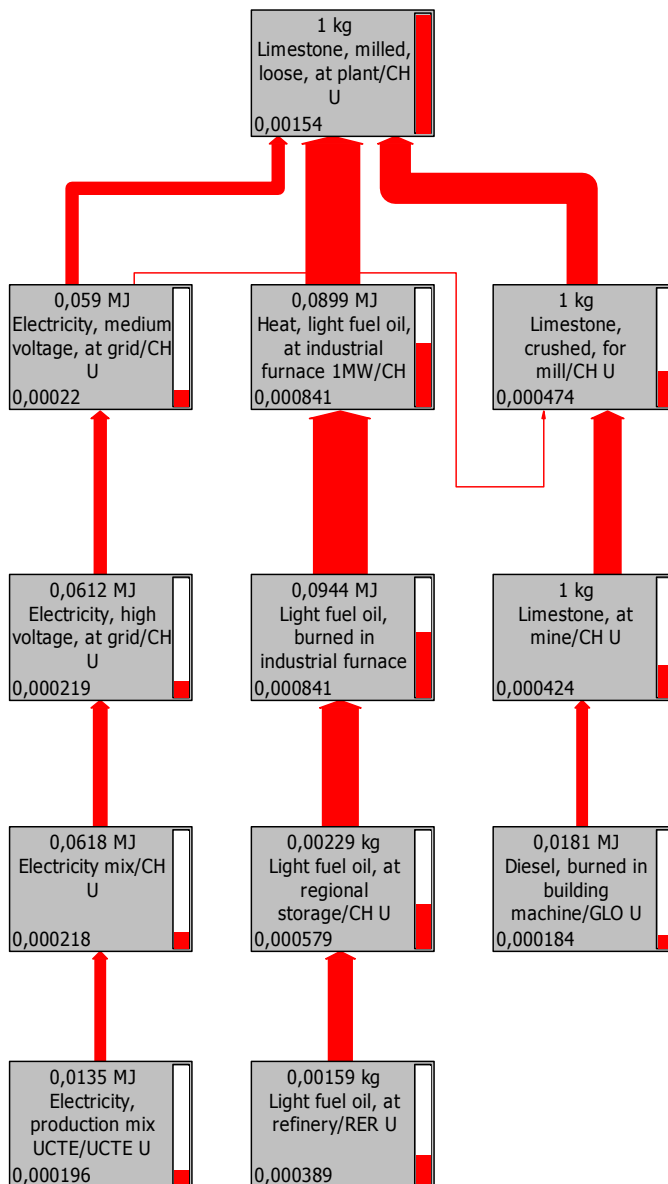
TABEL 23 RESULTATEN VOOR KALKSTEEN EN KRIJLT (REACTIEF CAC03)

Naam Ecoinvent-proces	GER-waarde (MJ/kg)	GER, niet-hernieuwbaar (MJ/kg)	GER, hernieuwbaar (MJ/kg)	ReCiPe-score (dPt/kg)
Limestone, milled, loose, at plant/CH S	0,39	0,30	0,08	0,015

Kalksteen wordt als zodanig gewonnen en hoeft dus geen bewerking anders dan de delfstofwinning, breken en transporteren te ondergaan. De milieu-impact van het kalksteen en krijt zelf is gering; de impacts hebben te maken met het energiegebruik tijdens de winning en maling.

De milieu-impact van krijt voor kleinverbruikers (niet weergegeven) zit meer in het verpakken en de transport dan in het product zelf.

FIGUUR 22 KALKSTEEN EN KRIJLT (REACTIEF CAC03), BOOMSTRUCTUUR RECIPE-SCORE, CUT-OFF 14%



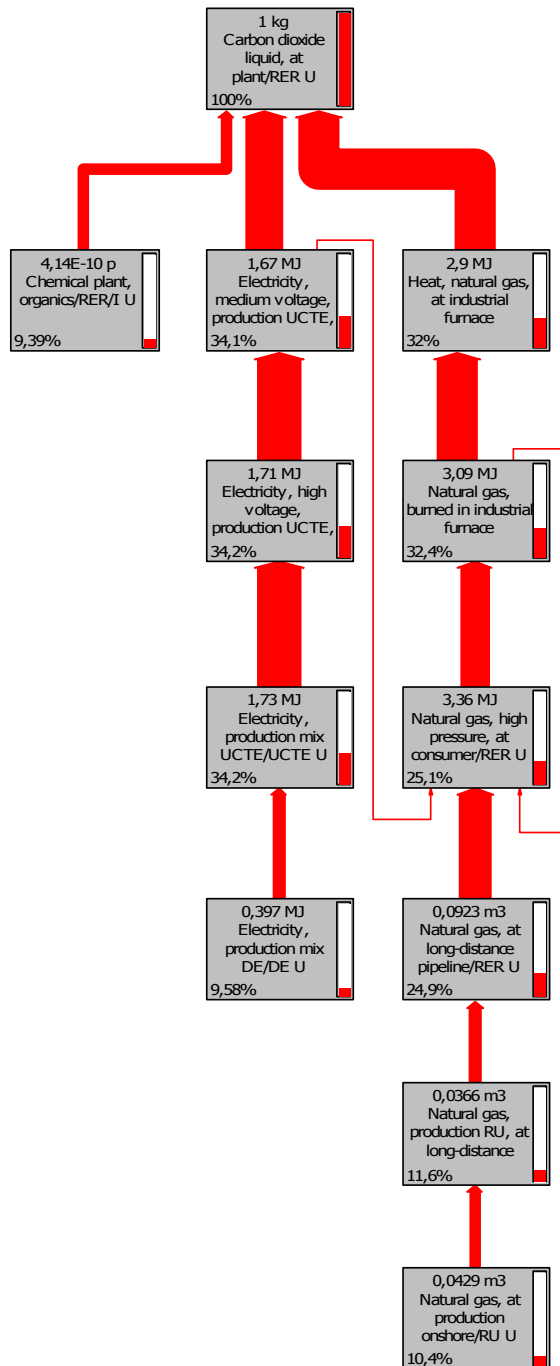
4.19 KOOLZUURGAS, VLOEIBAAR (CO₂)

Vloeibaar CO₂ is voorhanden binnen de Ecoinvent-database. Het proces is gemodelleerd op basis van het wassen van koolstofdioxide uit afgassen van productie processen met een 15-20% MEA (monoethanolamine) oplossing, gevolgd door een zuivering en liquefactiestap. De energiebron is elektriciteit. De resultaten zijn weergegeven in onderstaande tabel.

TABEL 24 RESULTATEN VOOR KOOLZUURGAS (VLOEIBAAR) (CO₂)

Naam Ecoinvent-proces	GER-waarde (MJ/kg)	GER, niet-hernieuwbaar (MJ/kg)	GER, hernieuwbaar (MJ/kg)	ReCiPe-score (dPt/kg)
Carbon dioxide liquid, at plant/RER U	10,94	10,53	0,41	0,75

FIGUUR 23 KOOLZUURGAS (VLOEIBAAR) (CO₂), BOOMSTRUCTUUR VAN DE RECIPE-SCORE (CUT-OFF 9,3%)



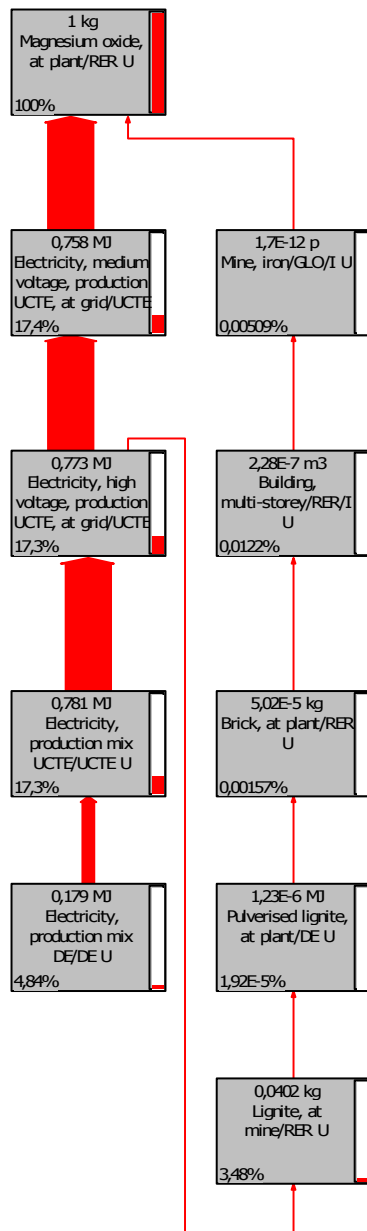
4.20 MAGNESIUMOXIDE (MGO)

TABEL 25 RESULTATEN VOOR MAGNESIUMOXIDE (MGO)

Naam Ecoinvent-proces	GER-waarde (MJ/kg)	GER, niet-hernieuwbaar (MJ/kg)	GER, hernieuwbaar (MJ/kg)	ReCiPe-score (dPt/kg)
Magnesium oxide, at plant/RER S	2,8	2,7	0,1	0,7

De figuur geeft aan dat de milieu-impact van het proces voornamelijk in het proces zelf zit. De elektriciteit die het proces gebruikt draagt voor 17% bij aan de milieu-impact.

FIGUUR 24 MAGNESIUMOXIDE (MGO), BOOMSTRUCTUUR RECIPE-SCORE, CUT-OFF 3,5%



4.21 NATRIUMHYPOCHLORIET (NAOCL)

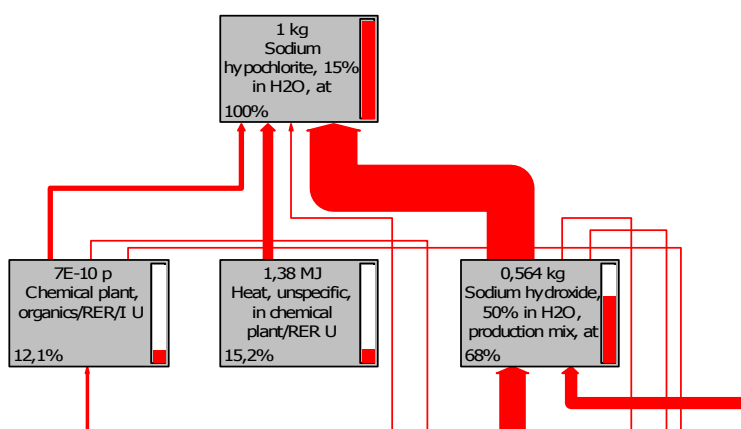
Natriumhypochloriet of chloorbleekloog is voorhanden binnen de Ecoinvent-database.

TABEL 26 RESULTATEN VOOR NATRIUMHYPOCHLORIET (NAOCL)

Naam Ecoinvent-proces	GER-waarde (MJ/kg)	GER, niet-hernieuwbaar (MJ/kg)	GER, hernieuwbaar (MJ/kg)	ReCiPe-score (dPt/kg)
Sodium hypochlorite, 15% in H ₂ O, at plant/RER S	17,5	16,4	1,0	1,0

De milieu-impact van de 15% NaOCl-oplossing wordt voor ongeveer 70% door de productie van natronloog veroorzaakt, zie Figuur 10. De figuur is afgeknipt onder de productie van natronloog, zie voor de analyse van die stof paragraaf 4.22.

FIGUUR 25 NATRIUMHYPOCHLORIET (NAOCL), BOOMSTRUCTUUR RECIPE-SCORE, CUT-OFF 13%



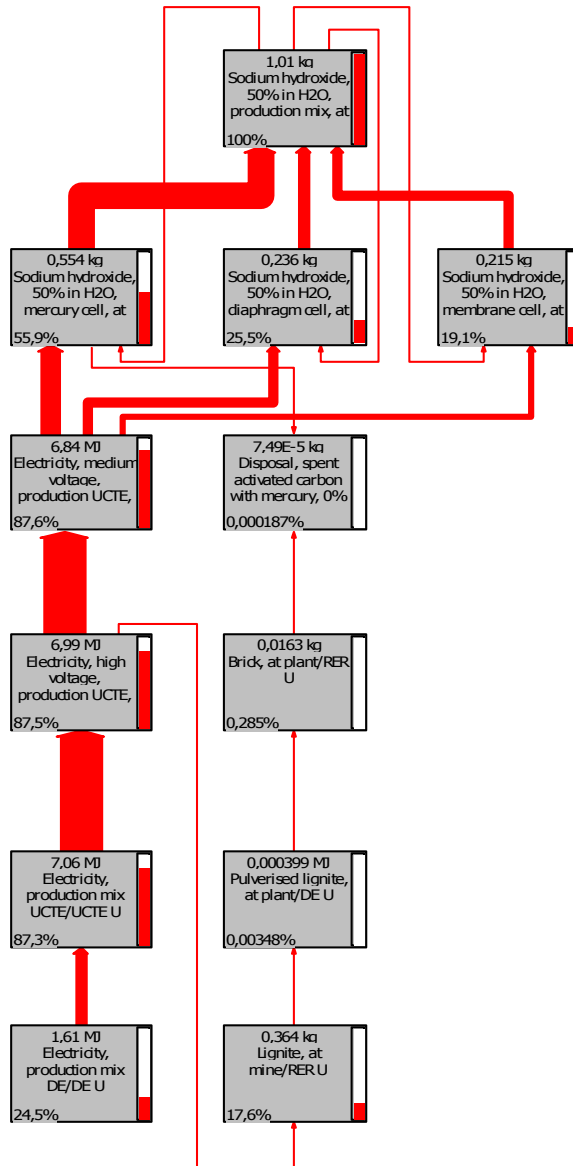
4.22 NATRONLOOG (NaOH)

Natronloog of natriumhydroxide is voorhanden binnen de Ecoinvent-database. Natronloog is een coproduct van de productie van chloor. Natronloog en chloor worden in een aantal processen gemaakt: het kwikproces, diafragmaproces en membraanproces. Het membraanproces is het meest milieuvriendelijk door het laagste elektriciteitsgebruik en de laagste emissies. Binnen de drinkwatersector wordt alleen gebruik gemaakt van natronloog, geproduceerd met het membraanproces. Het kwikproces was van oudsher dominant in Europa maar wordt uitgefaseerd. Zie verder Bijlage C over de productieprocessen voor natronloog en chloor. In de onderstaande tabel is de productiemix opgenomen. Om de verschillen tussen het membraanproces en het kwikproces inzichtelijk te maken zijn deze ook opgenomen in de tabel.

TABEL 27 RESULTATEN VOOR NATRONLOOG (NAOH)

Naam Ecoinvent-proces	GER-waarde (MJ/kg)	GER, niet-hernieuwbaar (MJ/kg)	GER, hernieuwbaar (MJ/kg)	ReCiPe-score (dPt/kg)
Sodium hydroxide, 50% in H ₂ O, production mix, at plant/RER S	22,8	21,4	1,4	1,2
Sodium hydroxide, 50% in H ₂ O, membrane cell, at plant/RER U	20,69	19,38	1,31	1,06
Sodium hydroxide, 50% in H ₂ O, mercury cell, at plant/RER U	22,51	21,08	1,43	1,20

FIGUUR 26 NATRONLOOG (NAOH), BOOMSTRUCTUUR RECIPE-SCORE, CUT-OFF 15%



4.23 METHANOL (CH₃OH)

TABEL 28 RESULTATEN VOOR METHANOL (CH₃OH)

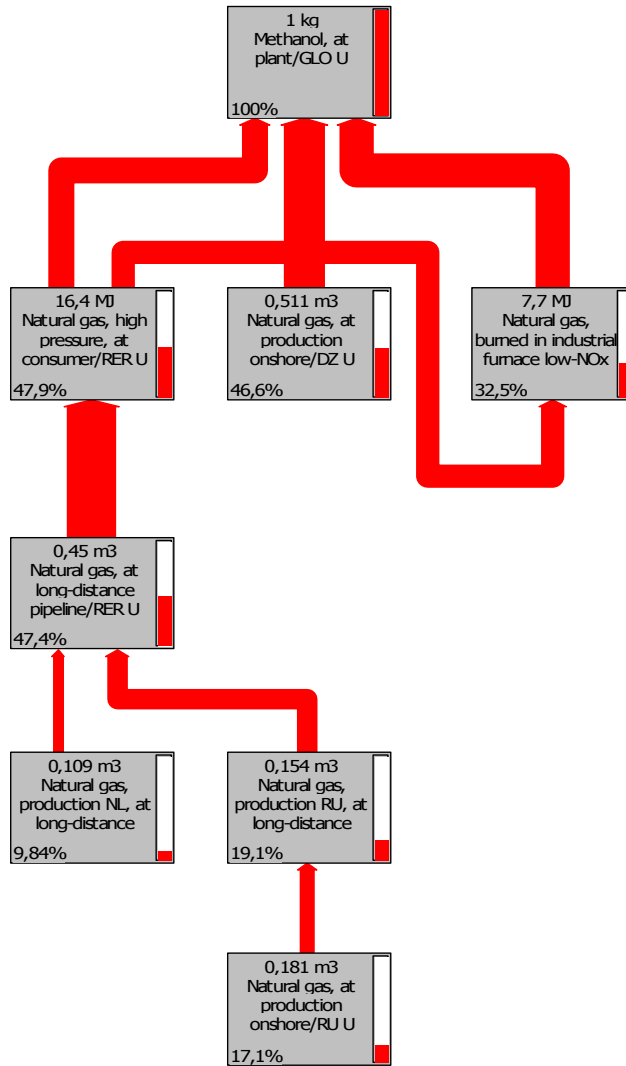
Naam Ecoinvent-proces	GER-waarde (MJ/kg)	GER, niet-hernieuwbaar (MJ/kg)	GER, hernieuwbaar (MJ/kg)	ReCiPe-score (dPt/kg)
Methanol, at plant/GLO S	37,6	37,4	0,1	1,9

Het methanolproces is representatief voor methanol die uit aardgas (stoomhervormen) wordt gemaakt (zonder H₂-coproductie).

De netwerkanalyse geeft aan dat de milieu-impact van het proces voornamelijk ontstaat bij de winning en transport van het aardgas.

Ecoinvent bevat geen informatie over biomethanol (wel over bio-ethanol, zie paragraaf 4.3)

FIGUUR 27

METHANOL (CH₃OH), BOOMSTRUCTUUR RECIPE-SCORE, CUT-OFF 9%

4.24 SUIKERS

In de rioolwaterzuivering wordt suikerstroop (melasse) gebruikt, wat een bijproduct is van de productie van kristalsuiker. Doordat bij dit productieproces meerdere bruikbare eindproducten ontstaan, wordt de milieu-impact verdeeld over deze eindproducten. Deze allocatie geschiedt via economische waarde, waarmee Ecoinvent de methodologische aanbevelingen volgens ISO-normen volgt.

De verdeelsleutel is als volgt:

- het aandeel kristalsuiker krijgt 91.7% van de milieu-impact toebedeeld;
- het aandeel melasse krijgt 4,5% van de milieu-impact toebedeeld;
- het aandeel bietenpulp krijgt 3,8 % van de milieu-impact toebedeeld.

Deze allocatie verklaart de geringe GER-waarde en ReCiPe-score van melasse.

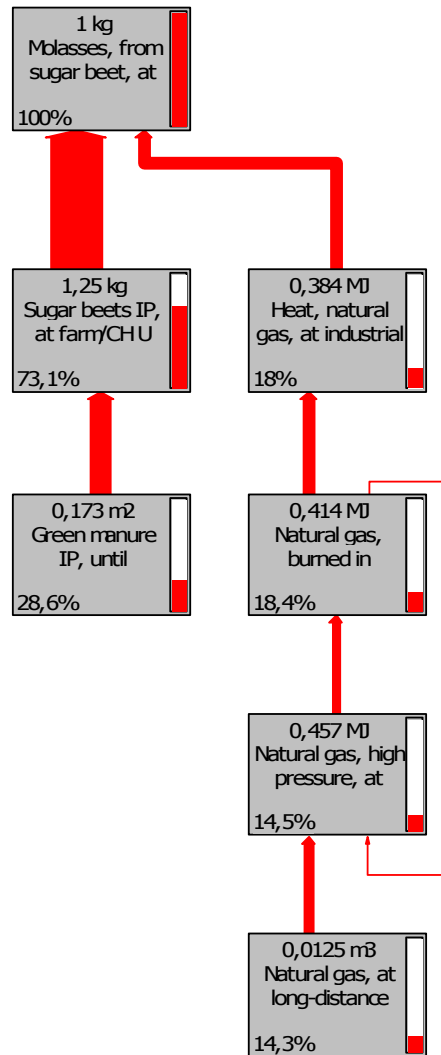
TABEL 29

RESULTATEN VOOR SUIKERS

Naam Ecoinvent-proces	GER-waarde (MJ/kg)	GER, niet-hernieuwbaar (MJ/kg)	GER, hernieuwbaar (MJ/kg)	ReCiPe-score (dPt/kg)
Molasses, from sugar beet, at sugar refinery/CH S	6,2	1,4	4,8	0,2

De figuur geeft aan dat de milieupact van het proces voor meer dan de helft ontstaat bij het verbouwen van suikerbieten.

FIGUUR 28 SUIKERS, BOOMSTRUCTUUR RECIPE-SCORE, CUT-OFF 10%



4.25 WATERSTOFPEROXIDE (H2O2)

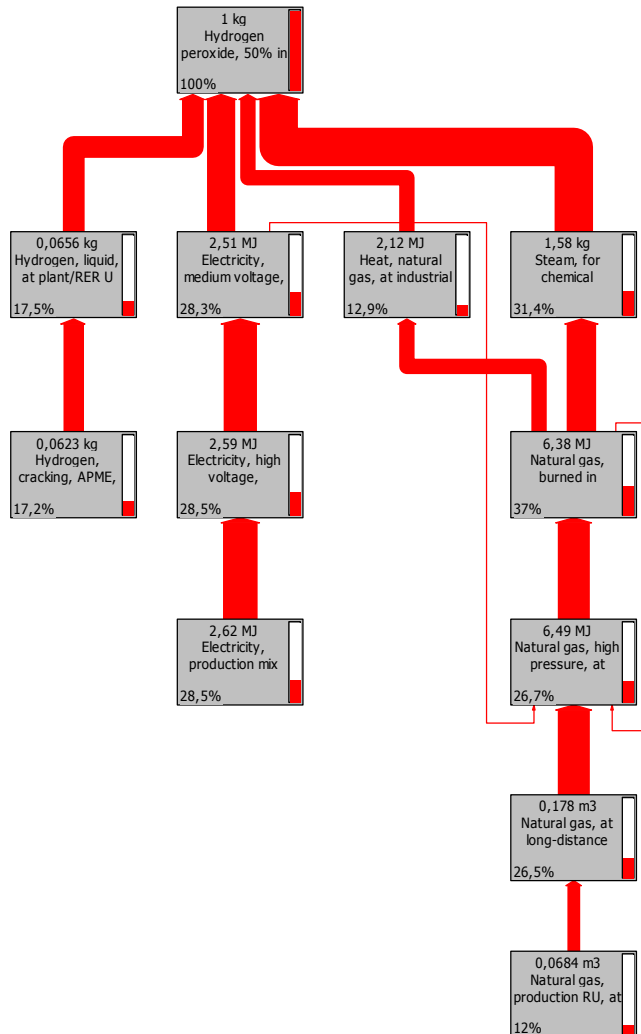
Waterstofperoxide is voorhanden in Ecoinvent. Resultaten zijn weergegeven in Tabel 30.

TABEL 30 RESULTATEN VOOR WATERSTOFPEROXIDE (H2O2)

Naam Ecoinvent-proces	GER-waarde (MJ/kg)	GER, niet-hernieuwbaar (MJ/kg)	GER, hernieuwbaar (MJ/kg)	ReCiPe-score (dPt/kg)
Hydrogen peroxide, 50% in H2O, at plant/RER U	22,78	22,2	0,6	1,4

Waterstofperoxide wordt gemaakt uit waterstof dat geoxideerd met lucht in aanwezigheid van stoom. Het Ecoinvent-proces is gebaseerd op data van acht Europese producenten. De relatieve impacts van de verschillende massastromen is weergegeven in de onderstaande boomstructuur.

FIGUUR 29 WATERSTOFFEROXIDE (H2O2), BOOMSTRUCTUUR VAN DE RECIPE-SCORE (CUT-OFF 12%)



4.26 WITTE FOSFOR (P)

Witte fosfor wordt uit fosfaaterts verkregen. Het in Ecoinvent beschikbare proces bevat erts uit de VS en Marokko (gelijk aandeel). Het originele Ecoinvent-proces is aangepast: in dit proces wordt palmolie gemodelleerd als proxy gebruikt voor carbonzuur (een paar gram per kg fosforerts). Dit leidt tot onrealistisch hoge scores, vooral bij ReCiPe, omdat het gebruik van palmolie in Zuid-Azië een degradatie van primair woud naar landbouwgrond tot gevolg heeft.

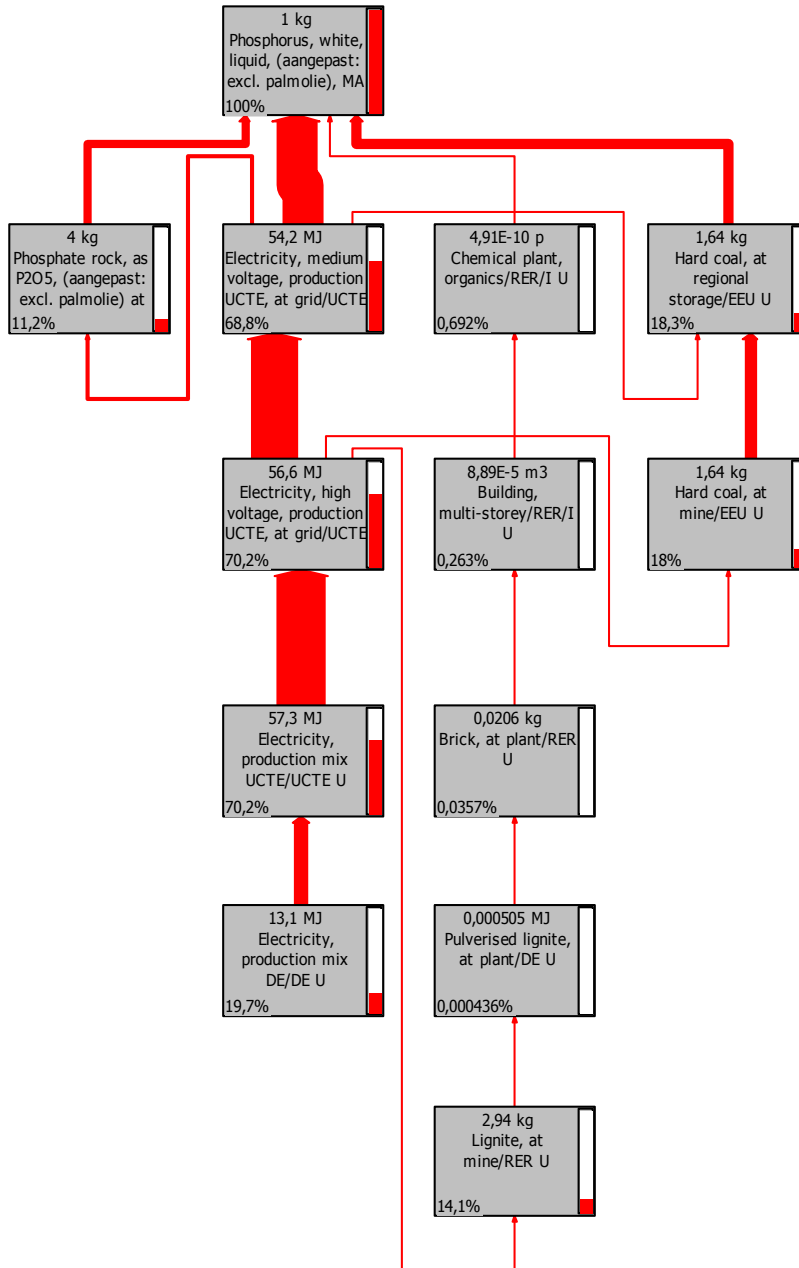
De aanbevolen waarden staan in de bovenste rij. Ter vergelijking is aangegeven wat de scores zijn wanneer het erts uit ofwel Marokko of de VS afkomstig is. Hierbij moet gezegd worden dat in Nederland fosforerts ook uit andere landen afkomstig is.

TABEL 31 RESULTATEN VOOR WITTE FOSFOR (P)

Naam Ecoinvent-proces	GER-waarde (MJ/kg)	GER, niet-hernieuwbaar (MJ/kg)	GER, hernieuwbaar (MJ/kg)	ReCiPe-score (dPt/kg)
Witte fosfor, herkomst erts: mix VS en Marokko	219,5	209,1	10,5	11,5
Witte fosfor, herkomst erts: VS	222,3	211,5	10,8	11,6
Witte fosfor, herkomst erts: Marokko	216,7	206,6	10,1	11,4

De figuur geeft aan dat de milieu-impact voornamelijk door elektriciteit (productiemix UCTE) en kolen als energiebron wordt veroorzaakt.

FIGUUR 30 WITTE FOSFOR (P), BOOMSTRUCTUUR RECIPE-SCORE, CUT-OFF 11%



4.27 ZOUTZUUR (HCL)

De Ecoinvent-database bevat drie verschillende processen voor de productie van zoutzuur. Van deze is vermoedelijk het Mannheim proces de meest representatieve vorm.

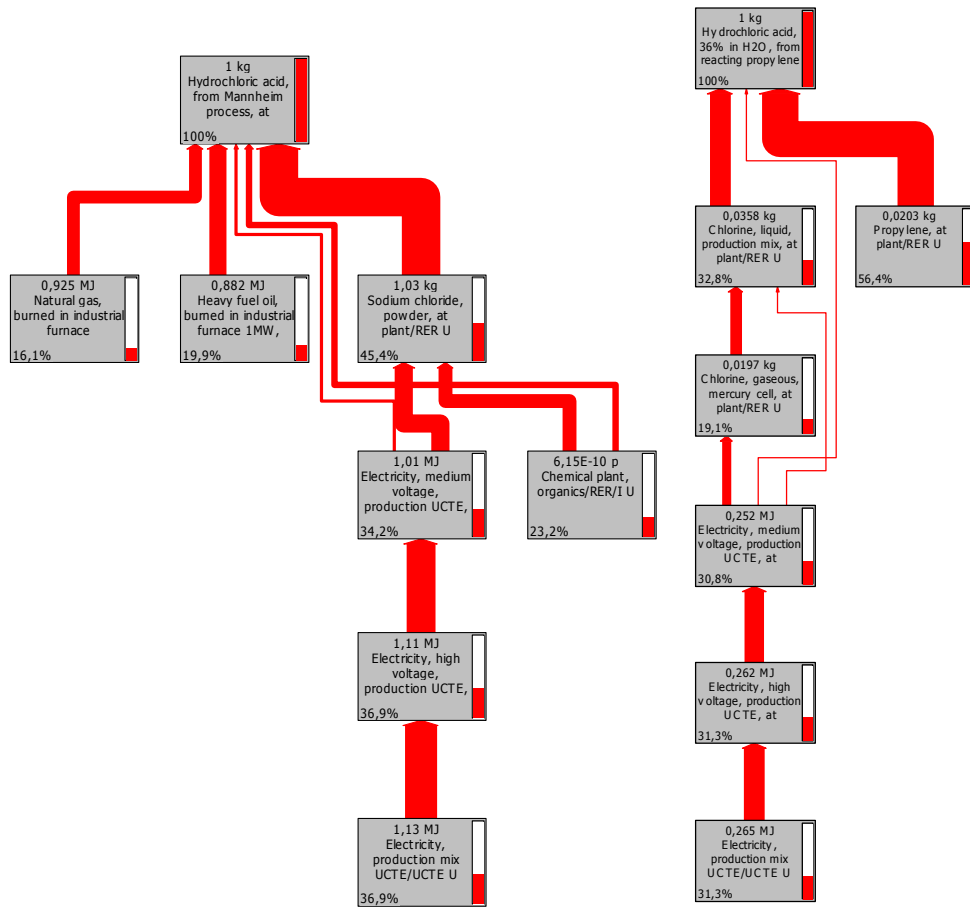
TABEL 32 RESULTATEN VOOR ZOUTZUUR (HCL)

Naam Ecoinvent-proces	GER-waarde (MJ/kg)	GER, niet-hernieuwbaar (MJ/kg)	GER, hernieuwbaar (MJ/kg)	ReCiPe-score (dPt/kg)
Hydrochloric acid, from Mannheim process, at plant/RER U	6,96	6,61	0,35	0,45
Hydrochloric acid, 36% in H2O, from reacting propylene and chlorine, at plant/RER U	2,38	2,32	0,06	0,12
Hydrochloric acid, from the reaction of hydrogen with chlorine, at plant/RER U	28,08	26,37	1,71	1,53

De boomstructuren voor de ReCiPe-score voor de eerste twee processen zijn hieronder weer gegeven (cut-off 15%).

FIGUUR 31

ZOUTZUUR (HCL), BOOMSTRUCTUUR RECIPE-SCORE, CUT-OFF 15%

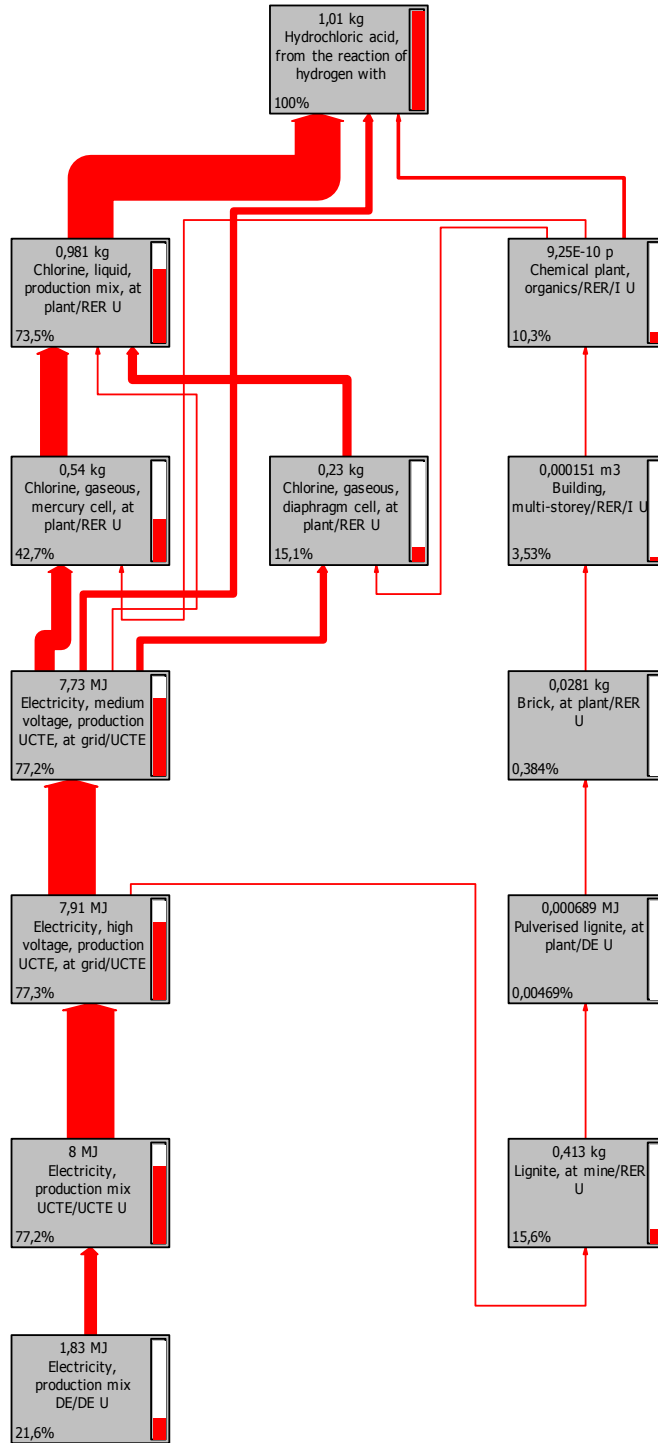


Voor het Mannheim-proces (figuur links) wordt duidelijk dat de milieupact voor een belangrijk deel ontstaat door de zoutproductie ('sodium chloride, powder, at plant'). Daarnaast zijn de brandstoffen (natural gas; fuel oil) en elektriciteit belangrijk. Bij de organische synthese (figuur rechts) is HCl een coproduct van het produceren van gechloroerde organische verbindingen. In het weergegeven proces zijn de productie van vloeibaar chloor en propaan de belangrijkste stappen.

Ook bij de directe synthese (Figuur 32) is de chloorproductie belangrijk, waarbinnen dan weer het kwikcelproces en de elektriciteitsproductie grote bijdragen aan de totale milieupact leveren.

Zie de opmerkingen van over de productieprocessen voor chloor in Ecoinvent.

FIGUUR 32 ZOUTZUUR (HCL), BOOMSTRUCTUUR RECIPE-SCORE; GEEN CUT-OFF



4.28 ZUURSTOF, VLOEIBAAR (O₂)

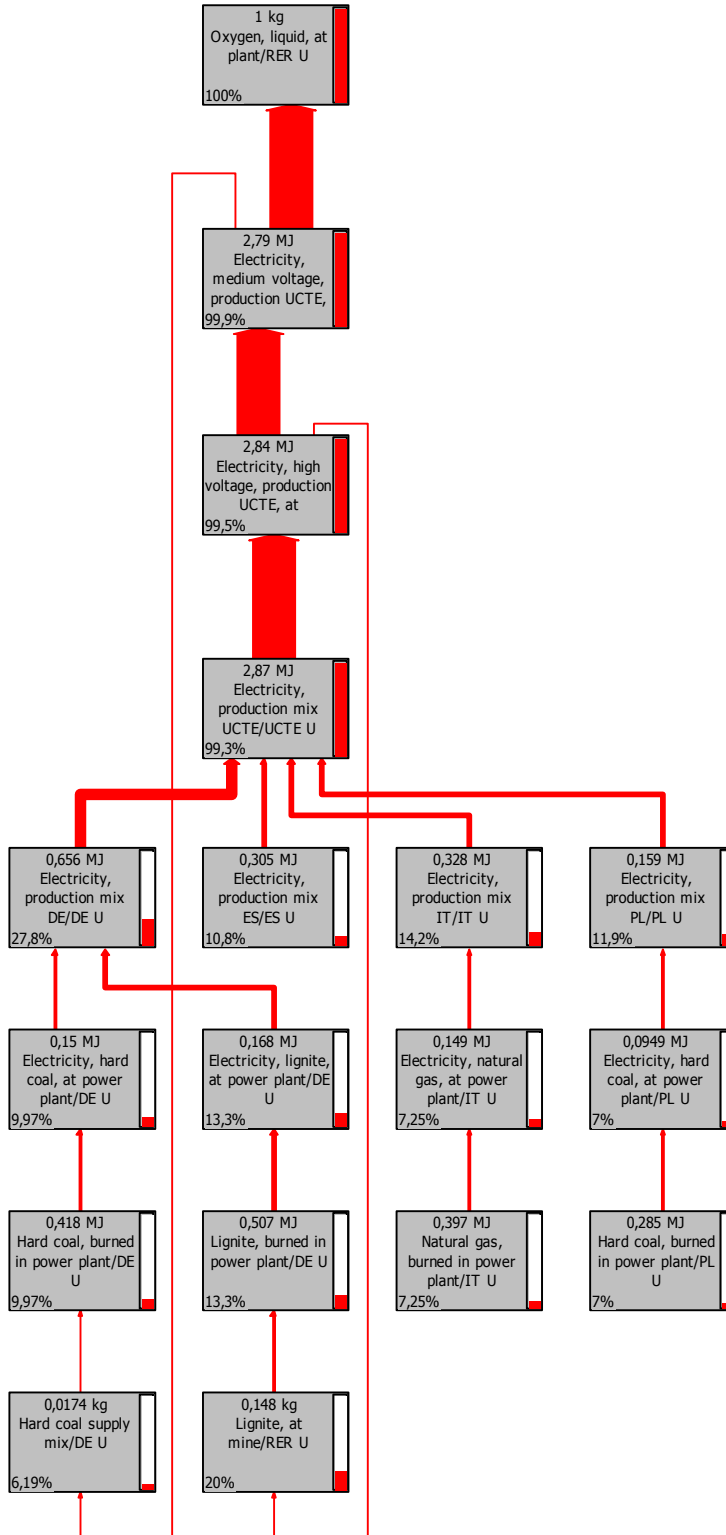
Vloeibaar zuurstof is voorhanden binnen de Ecoinvent-database. De resultaten zijn weer-gegeven in onderstaande tabel.

TABEL 33 RESULTATEN VOOR ZUURSTOF, VLOEIBAAR (O₂)

Naam Ecoinvent proces	GER-waarde (MJ/kg)	GER, niet-hernieuwbaar (MJ/kg)	GER, hernieuwbaar (MJ/kg)	ReCiPe-score (dPt/kg)
Oxygen, liquid, at plant/RER U	8,78	8,24	0,54	0,43

De boomstructuur van het Ecoinvent-proces laat zien dat de milieu-impacts nagenoeg volledig verband houden met de elektriciteitsproductie. Dit is logisch omdat een luchtscheidingsfabriek vooral veel elektriciteit gebruikt. De brandstof die de grootste impact heeft is bruinkool (lignite), ca. 20% van de milieu-impacts, bruinkool wordt voornamelijk gebruikt in de Duitse en Oost-Europese elektriciteitsopwekking. Omdat in de Ecoinvent-database van een Europese stroommix uitgegaan wordt, is deze hier weergegeven.

FIGUUR 33 ZUURSTOF, VLOEIBAAR (O2), BOOMSTRUCTUUR VAN DE RECIPE-SCORE (CUT-OFF 5.1%)



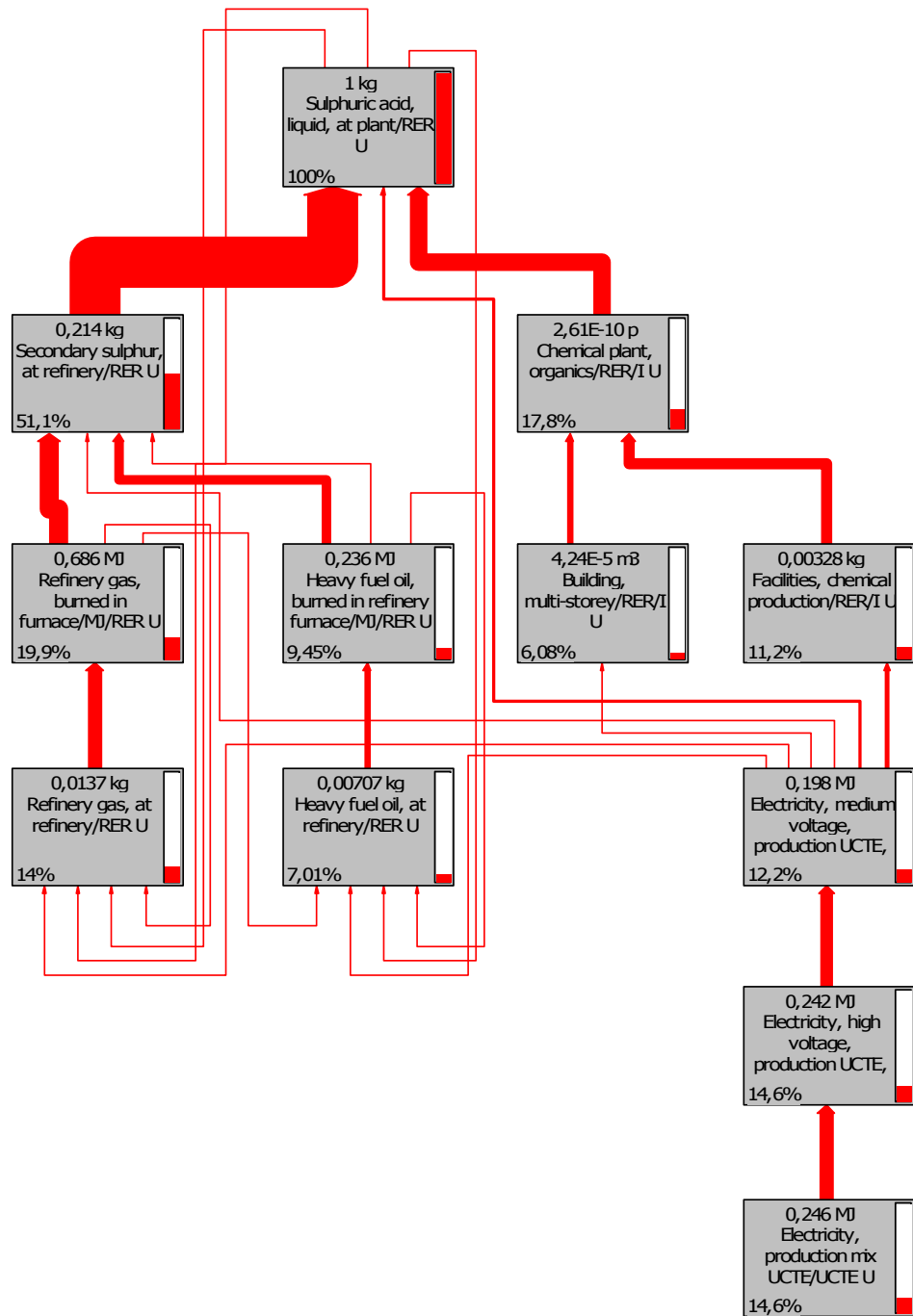
4.29 ZWAVELZUUR (H₂SO₄)

Zwavelzuur is een stof met een vrij lage GER-waarde en lage milieu-impact omdat het gemaakt wordt uit secundair zwavel, in het Ecoinvent-procesmodel afkomstig uit de raffinaderij. Het vergt verder weinig energie om daar zwavelzuur van te maken.

TABEL 34 RESULTATEN VOOR ZWAVELZUUR (H2SO4)

Naam Ecoinvent-proces	GER-waarde (MJ/kg)	GER, niet-hernieuwbaar (MJ/kg)	GER, hernieuwbaar (MJ/kg)	ReCiPe-score (dPt/kg)
Sulphuric acid, liquid, at plant/RER U	2,12	2,02	0,10	0,25

FIGUUR 34 ZWAVELZUUR (H2SO4), BOOMSTRUCTUUR VAN DE RECIPE-SCORE (CUT-OFF %)



5

HULPSTOFFEN MET MODELLERING

In dit hoofdstuk worden de resultaten gepresenteerd voor de stoffen waar een modellering voor is opgezet.

5.1 ACTIEVE KOOL (GEREGENEREERDE ACTIEVE KOOL)

Granulair actieve kool is niet voorhanden binnen de Ecoinvent-database. Daarom is de vervaardiging van de stof gemodelleerd, uitgaande van harde steenkool, op basis van informatie uit de openbare literatuur.

De belangrijkste processen tijdens de productie zijn volgens Bayer e.a. (2005): nat malen van kolen, mengen met bindmiddel, vervaardiging van briketten, oxidatie, drogen, verkolen, activering, breken, zeven en verpakken. De cruciale stap is de activatieprocedure, een selectieve behandeling bij hoge temperatuur waardoor zeer poreus materiaal ontstaat. Bij temperaturen tussen de 800 en 1.000 °C wordt met stoom een deel van de vaste stof vergast, waardoor 60% van het oorspronkelijke gewicht van de vaste stof omgezet wordt.

De grondstoffen en energiekentallen van het proces worden door Bayer e.a. als volgt ingeschat per kg actief kool:

- 3 kg hard coal;
- 12 kg stoom (waterdamp);
- energie: 1,6 kWh uit elektriciteit en uit aardgas: 0,33 m³.

Actieve kool wordt na een bepaalde toepassing in een productiebedrijf door de leverancier teruggenomen en wordt dan geregenereerd. Dit gebeurt met dezelfde productie-installatie als voor de productie van primair actief kool. De stappen die doorlopen worden zijn het vergassen van de verontreinigingen en het opnieuw activeren. Na de reactivatie wordt ongeveer 10% nieuw actieve kool toegevoegd om tot hetzelfde volume te komen. Op basis van deze beschrijving wordt voor het procesmodel voor geregenereerd actieve kool uitgegaan van dezelfde energie-inputs als voor de productie van primair actieve kool, maar de materiaalininput aan 3 kg hard coal vervalt en wordt vervangen door 10% primair actieve kool.

Met deze informatie kan het proces worden gemodelleerd, de resultaten zijn in onderstaande tabel weergegeven.

TABEL 35 RESULTATEN VOOR ACTIEVE KOOL (GEREGENEREERDE ACTIEVE KOOL)

Gemodelleerd proces	GER-waarde (MJ/kg)	GER, niet-hernieuwbaar (MJ/kg)	GER, hernieuwbaar (MJ/kg)	ReCiPe-score (dPt/kg)
Actieve kool	164,32	162,53	1,79	9,39
Actieve kool, geregenereerd	43,1	42,5	0,6	2,6

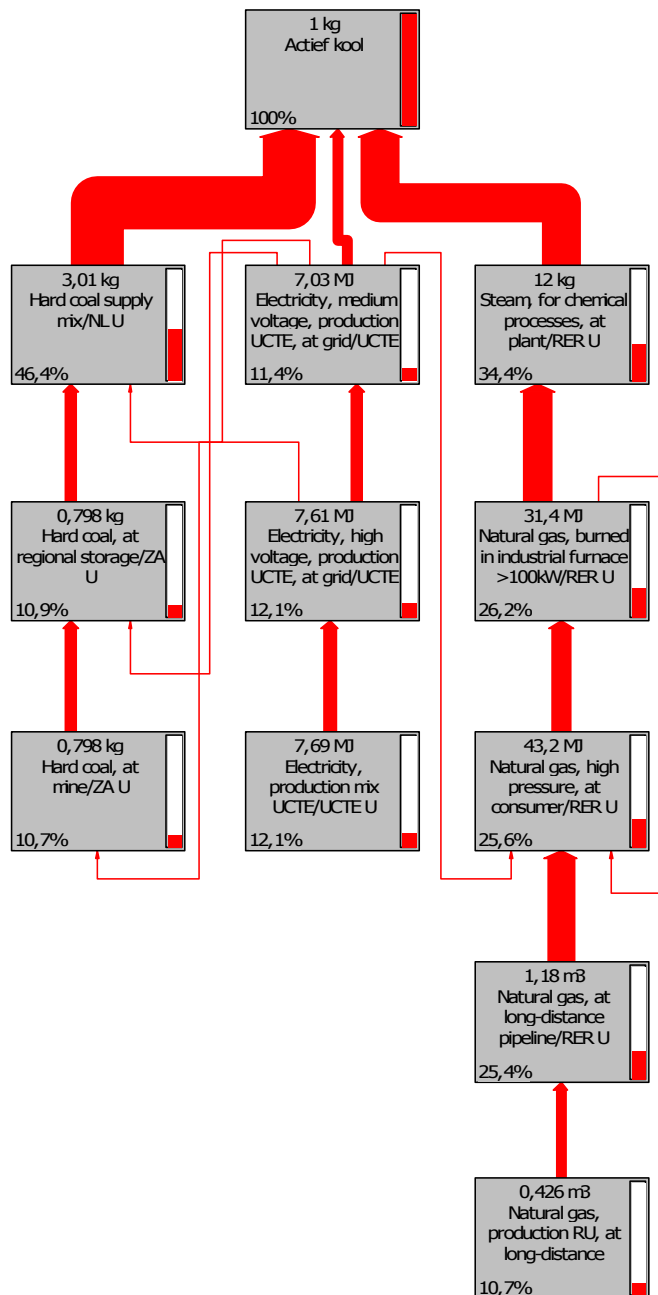
De GER-waarde is relatief hoog, een uitsplitsing van de GER-waarde voor primair actieve kool is hieronder weergegeven:

TABEL 36 RESULTATEN VOOR ACTIEVE KOOL (GEREGENEREERDE ACTIEVE KOOL)

Gemodelleerd proces	GER-waarde, energiebijdrage (MJ/kg)
Hard coal supply mix/NL	84,2
Electricity, medium voltage, production UCTE, at grid/UCTE	18,2
Steam, for chemical processes, at plant/RER	47,5
Heat, natural gas, at industrial furnace low-NOx >100kW/RER	14,3

De netwerkanalyse laat dit bovenstaande beeld ook zien.

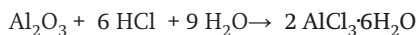
FIGUUR 35 ACTIEVE KOOL (GEREGENEREERDE ACTIEVE KOOL), BOOMSTRUCTUUR VAN DE RECIPE-Score (CUT-OFF 10%)



5.2 ALUMINIUMCHLORIDE (ALCL₃)

Aluminiumchloride kent een aantal verschijningsvormen; verschillende hydraatvormen en een watervrije kristallijne vorm. De laatste vorm reageert heftig exotherm met water; in het kader van een RWZI is dit anhydraat vermoedelijk niet van toepassing. Aluminiumchloride is niet rechtstreeks in Ecoinvent voorhanden.

In deze studie modelleren we het hexahydraat van aluminiumchloride. De reactie uit aluminiumoxide en zoutzuur is gegeven door de volgende vergelijking¹⁵:



Voor de procesenergie, de transportafstanden en het gebruik van de fabriek hanteren we de waarden vermeld in Paragraaf 3.3.

De berekende waarden zijn als volgt:

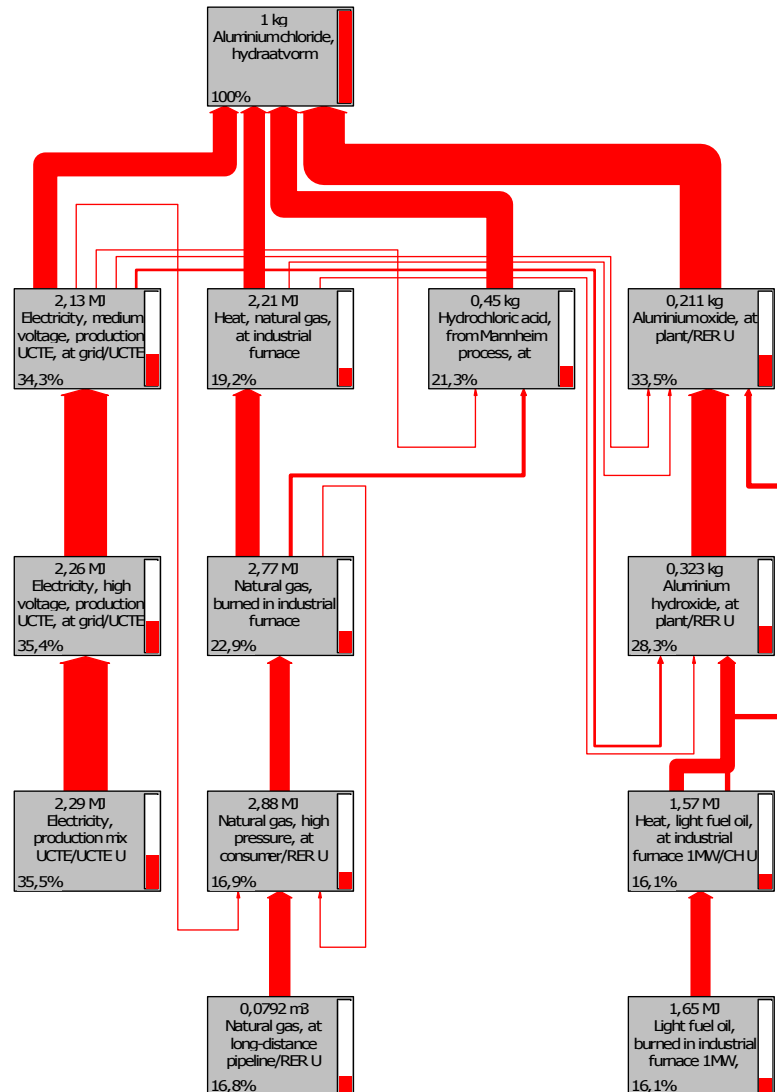
TABEL 37 RESULTATEN VOOR ALUMINIUMCHLORIDE (ALCL₃)

Gemodelleerd proces	GER-waarde (MJ/kg)	GER, niet-hernieuwbaar (MJ/kg)	GER, hernieuwbaar (MJ/kg)	ReCiPe-score (dPt/kg)
Aluminium chloride, hydraatvorm	14,9	14,3	0,6	0,96

De netwerkanalyse die hieronder is weergegeven laat zien dat de productie van aluminiumoxide een belangrijke milieu-impact omvat, maar ook het elektriciteitsgebruik in de diverse processtappen zijn belangrijk

¹⁵ Wikipedia (2011): http://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium_chloride.

FIGUUR 36

ALUMINIUMCHLORIDE (ALCL₃)BOOMSTRUCTUUR RECIPE-SCORE, CUT-OFF 15%

5.3 ANTRACIET, FILTERZAND, ZILVERZAND, GRIND, GRANAATZAND EN MARMER

Voor filtertoepassingen vallen de zanden uiteen in twee soorten zand/grind (grind is zand met korrelgrootte >2 mm): de filterzanden en zogenaamde entzanden (zilver-granaatzanden). Zand en grind zijn voorhanden binnen de Ecoinvent-database, maar voor de processen voor de drinkwatertoepassing zijn wel aanpassingen noodzakelijk op hoe de processen in de Ecoinvent-database gemodelleerd zijn.

FILTERZANDEN VOOR FILTERS DIE GEREGENEREERD WORDEN

Filterzanden (en antraciet) worden gebruikt om water te zuiveren. De filters met de zandbedden worden teruggespoeld. Hierdoor kunnen dit soort filterbedden lang meegaan en de 'operationele levensduur' van het filtermateriaal kan zelfs meer dan twintig jaar bedragen. Deze lange levensduur betekent dat de milieu-impact van de productie in verhouding tot het proces van een zuiveringsbedrijf zeer beperkt is. Dit is belangrijk om in het achterhoofd te houden bij het beschouwen van energie/milieu-impacts van de productie van de stoffen.

ENTZANDEN

Entzanden worden gebruikt om kalk te binden bij wateronthardingsinstallaties, hierdoor zijn deze zanden wel een verbruiksartikel en is de levensduur aanzienlijk korter. Granaatzand, zilverzand en bepaalde gradaties filterzand vallen onder de 'entzanden'.

De verschillende zanden die in de Nederlandse drinkwaterbereiding worden gebruikt komen van verschillende winlocaties. Een indeling van de zanden en filtermaterialen die past bij de Nederlandse situatie is de volgende:

- filterzand (gradaties 0,8-2,5 mm); herkomst Nederland, Duitsland;
- zilverzand, herkomst uit Nederland of België;
- granaatzand, herkomst Australië;
- grind (gradaties 2 - 8 mm); herkomst Nederland, Duitsland;
- antraciet, herkomst West-Europa.

ZAND EN GRIND

Zand en grind zijn minerale grondstoffen zonder energie-inhoud (verbrandingswaarde nihil). In Ecoinvent bestaan processen voor (silica) zand, rond, gebroken en niet nader gespecificeerd grind¹⁶. Deze processen zijn gemaakt op grond van de inventarisatie van de zand- en grindwinning in Zwitserland. De verschillen tussen de winmethoden bij de verschillende winplaatsen zijn naar verwachting marginaal, maar de transportafstanden kunnen sterk verschillen, voor de van ver afkomstige stoffen nemen we transport naar Nederland dus mee in de berekening.

Leveranciers van zand en grind voor drinkwatertoebereiding zijn benaderd voor gegevens over het energieverbruik. Een leverancier geeft aan dat gewassen, geclassificeerd zand aangeleverd wordt uit Nederland en Duitsland. Dit zand is nog nat, het wordt gedroogd en verder gezeefd voor een precieze deeltjesgrootteverdeling. Een inschatting voor het energiegebruik voor het wassen en classificeren bij de winning is 4 kWh/ton zand. De energie voor het drogen en verder selectief zeven bij de leverancier bedraagt 0,190 MJ aan warmte en een 7,5 kWh/ton aan elektriciteit. Deze cijfers komen goed overeen met de 0,20 MJ/kg die in Ecoinvent is opgenomen voor het drogen van zand van 5% vochtigheid naar 1% vochtigheid (proces voor zuiver silicazand).

De transportafstand voor het zand uit Australia¹⁷ bedraagt: 20 577 km per zeeschip¹⁸ en daarnaast wordt 100 km aangenomen voor het voortransport, per vrachtwagen, van de mijn naar de zeehaven.

ANTRACIET

Antraciet als filtermateriaal is een wat andere stof, deze is niet direct in de Ecoinvent-database voorhanden. Antraciet als filtermateriaal is West-Europese steenkool, welke wordt vermalen en dan gezeefd om de juiste deeltjesgrootte te selecteren. Voor het basismateriaal (antraciet) wordt het Ecoinvent-proces voor *Hard coal, at regional storage/WEU U* aangenomen. Dit wordt uitgebreid met het energiegebruik voor het malen tot een fijne deeltjesgrootte.

16 Sand, at mine/CH; Silica sand, at plant/DE; Gravel, crushed, at mine/CH; Gravel, round, at mine/CH; Gravel, unspecified, at mine/CH.

17 Mijnen zijn zowel te vinden in west als in Oost-Australië (Victoria). <http://www.australianminesatlas.gov.au/?site=atlas&tool=search> Melbourne is aangenomen als vertrekhaven.

18 <http://sea-distances.com/> Melbourne -> Rotterdam, via Suez-kanaal: 11.111 nautische mijlen.

Voor de energie voor het vermalen wordt een aan de literatuur ontleende waarde van 4 kWh/ton¹⁹ gehanteerd. Er wordt vanuit gegaan dat er geen verlies van materiaal is. De steenkool wordt over een bepaalde afstand getransporteerd tot de bewerkingslocatie. De transportafstand van de mijn in West-Europa naar de regionale opslag in West-Europa zit al in het proces voor *Hard coal, at regional storage/WEU*, in toevoeging hierop zijn geen andere transportafstanden opgenomen.

Marmer (calciet) en akdolie

Marmer is als puur product niet rechtstreeks voorhanden binnen Ecoinvent. Bij marmer kan het gaan om puur calciet (calciumcarbonaat, CaCO₃), maar akdolie (CaMg(CO₃)₂) kan ook in een bepaald percentage aanwezig zijn. In Ecoinvent is het proces voor dolomiet voorhanden, niet voor calciet. Ook is er een proces voor de productie en malen van puur kalksteen (Limestone). De Ecoinvent-documentatie vermeldt dat het proces voor dolomiet is gebaseerd op het proces voor vermalen kalksteen. Vandaar dat we het proces voor dolomiet als een proxy kunnen nemen voor het proces voor de winning van marmer.

De GER-waarden en milieu-impacts van de productie van de verschillende filterzanden zijn hieronder weergegeven.

TABEL 38 RESULTATEN VOOR ANTRACIET, FILTERZAND, ZILVERZAND, GRIND, GRANAATZAND EN MARMER

Gemodelleerd proces	GER-waarde (MJ/kg)	GER, niet-hernieuwbaar (MJ/kg)	GER, hernieuwbaar (MJ/kg)	ReCiPe-score (dPt/kg)
Filterzand (NL/BE/DLD) bij leverancier	0,41	0,40	0,01	0,03
Zilverzand (NL/BE/DLD) bij leverancier	0,41	0,40	0,01	0,03
Granaatzand (Australië), bij leverancier	4,13	4,07	0,06	0,32
Gravel, crushed, at mine/CH U	0,14	0,12	0,01	0,01
Antraciet (filtermateriaal)	31,25	31,04	0,21	1,53
Dolomite, at plant/RER U (tbv. Marmer/calciet)	0,53	0,51	0,02	0,03

De verschillen in de waarden tussen de verschillende zanden (filterzand, zilverzand, granaatzand) komen door het transoceanische vervoer dat bij Australisch granaatzand nodig is. Het proces voor gebroken grind (Gravel, crushed, at mine) is een standaard Ecoinvent-proces.

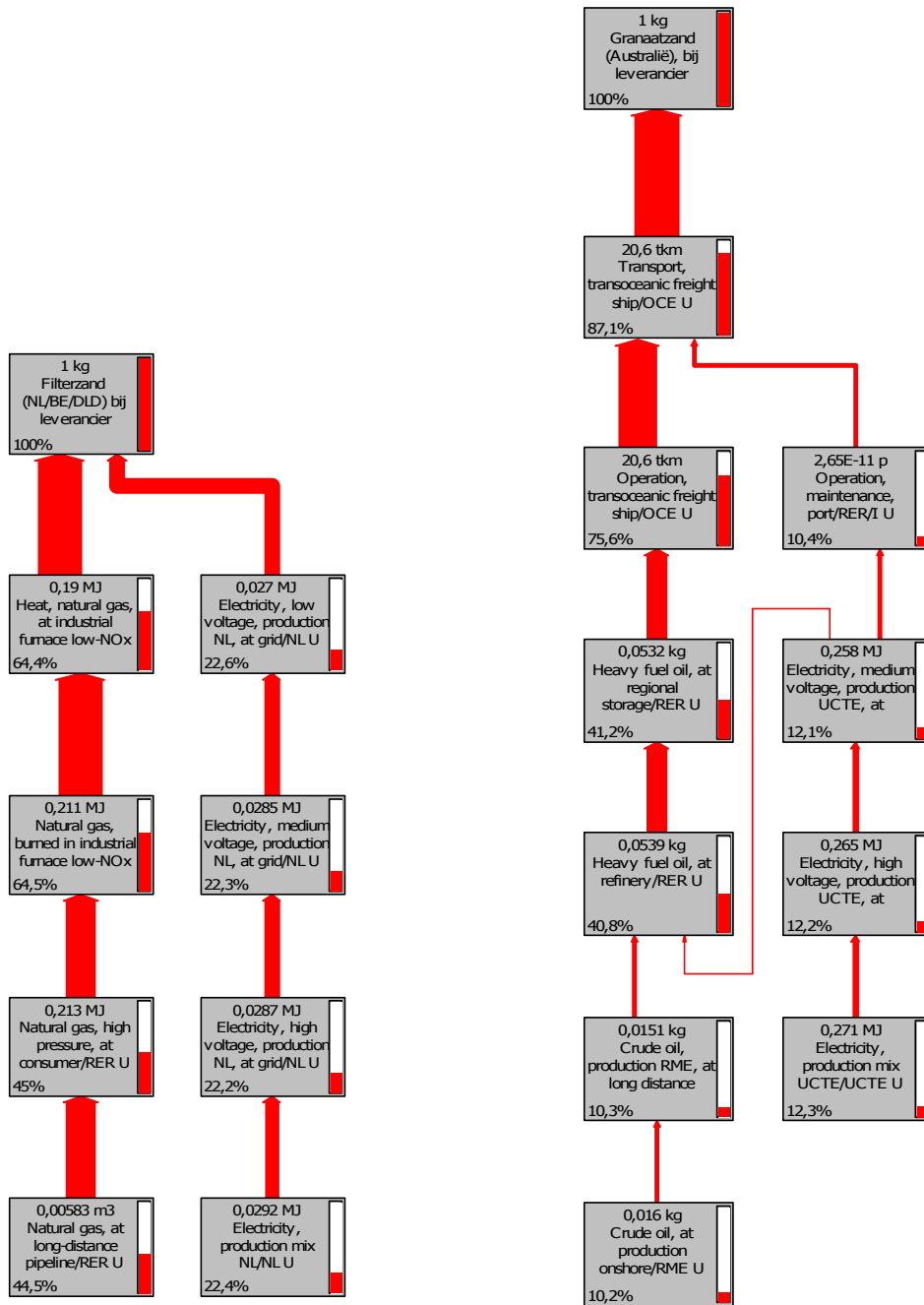
Het valt op dat de GER-waarde van Antraciet, 31,3 MJ/kg, hoger is dan die van de andere filtermaterialen. Dit heeft te maken met de brandstofwaarde van het materiaal (volgens de Ecoinvent-documentatie is 15,8 MJ/kg gehanteerd als een gemiddelde brandstofwaarde (bovenwaarde) voor Europese kolen. Daarnaast is het volgens de Ecoinvent-inventarisatie zo dat voor 1 kg steenkool beschikbaar voor nuttige toepassing, 1,5 kg steenkool uit de ondergrond gehaald wordt. Kennelijk zit hier een zeker verlies, steenkool die niet van rots wordt gescheiden, en dergelijke.

De boomstructuren van de opbouw van de ReCiPe-score zijn weergegeven in Figuur 37 en Figuur 38.

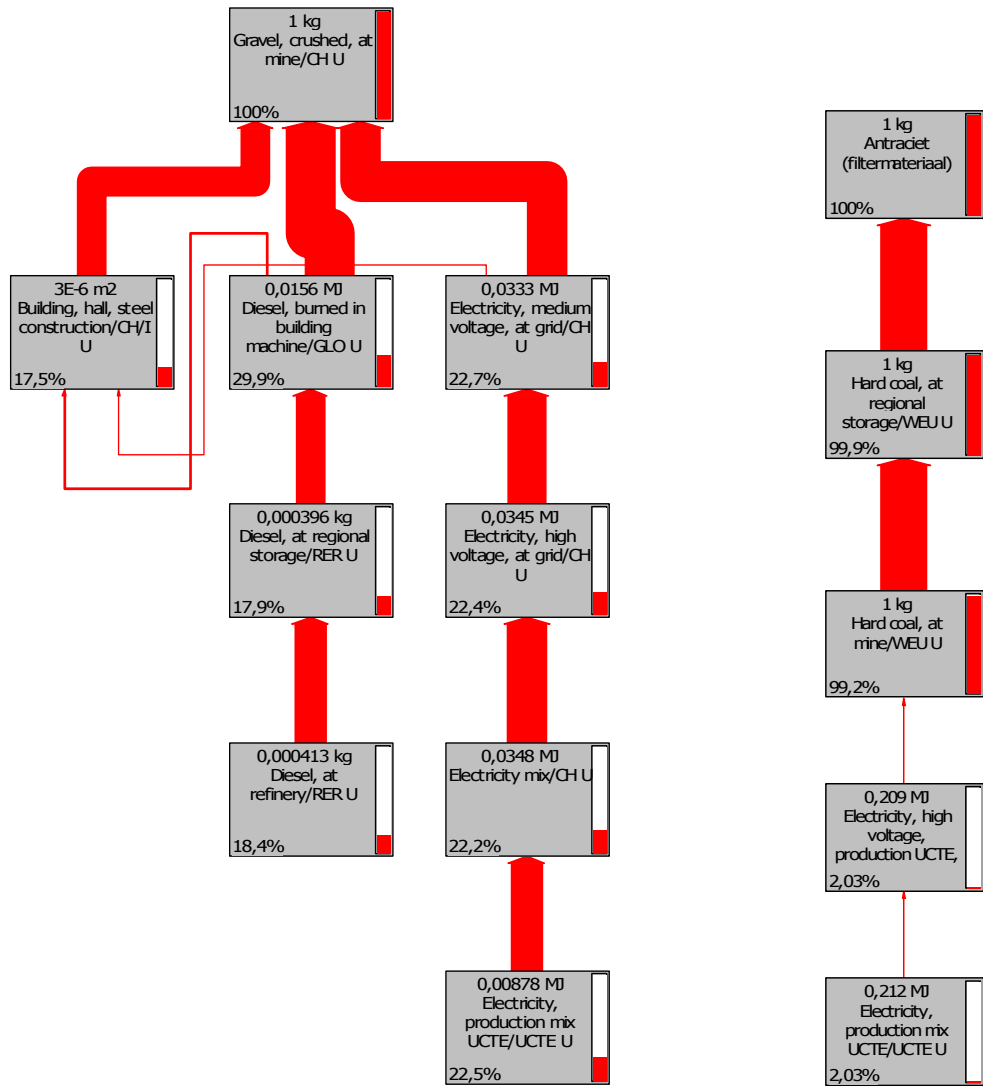
19 P. Aarne Vesilind, William A. Worrell, *Solid Waste Engineering*. CL-Engineering: 2011. De arbeid voor het vermalen berekend met de Bond law: $E = 10E_i \left(\frac{1}{\sqrt{L_p}} - \frac{1}{\sqrt{L_p'}} \right)$, waarbij L_p de einddiameter is en L_p' die van de ingaande (alles in μm). Gehanteerde E_i voor kolen van 11.4 kWh/ton, en 5 cm voor de ingaande kolen, en malen naar 0,5 mm.

FIGUUR 37

FILTERZAND/ZILVERZAND (LINKS); GRANAATZAND (HERKOMST AUSTRALIË) (RECHTS),
BOOMSTRUCTUUR VAN DE RECIPE-SCORE (CUT-OFF 20% / 10,2%)

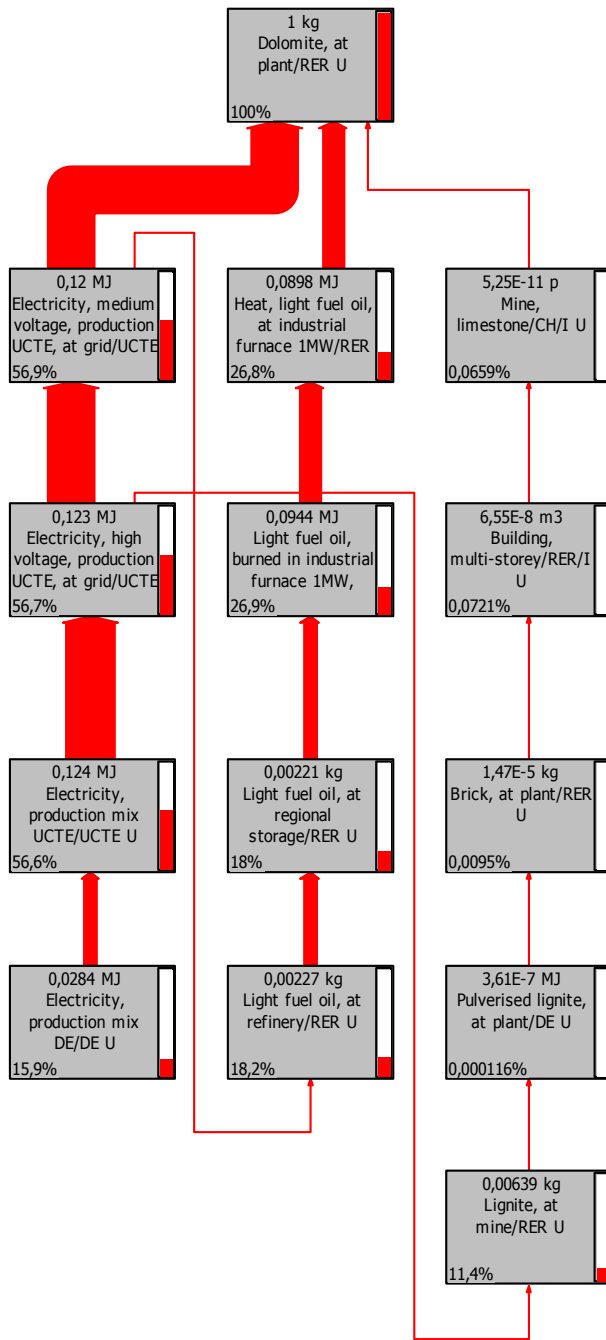


FIGUUR 38 GEBROKEN GRIND (LINKS), ANTRACIET (RECHTS), BOOMSTRUCTUUR VAN DE RECIPE-SCORE (CUT-OFF 15% / 1,8%)



FIGUUR 39

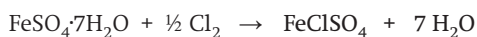
AKDOLIET, BOOMSTRUCTUUR RECIPE-SCORE, CUT-OFF 10%



5.4 IJZERCHLOROSULFAAT (FeClSO₄)

Ijzerchlorosulfaat (coagulant) is niet voorhanden binnen de Ecoinvent-database. Op basis van de reactievergelijking en productiekarakteristieken is de stof gemodelleerd.

Ijzerchlorosulfaat wordt vervaardigd door ijzer(II)sulfaat uit de productie van titaniumdioxide te chloreren met recirculatie. Het is een exotherme reactie, de temperatuur stijgt van 50 naar 80 °C.²⁰ De reactievergelijking luidt:



Ijzer(II)sulfaat²¹ (FeSO₄) is beschikbaar in Ecoinvent. Ecoinvent vermeldt dat het gaat om een bij/afvalproduct van de staalproductie; als zodanig is alleen het elektriciteitsgebruik voor de purificatie inbegrepen bij het proces voor de productie van ijzersulfaat. Ijzersulfaat is daarom een stof met een lage milieu-impact.

Uit de reactievergelijking volgt dat er per 0,81 kg ijzersulfaat 0,19 kg chloor nodig is. Voor de transportafstanden en het gebruik van de fabriek worden de waarden vermeld in Paragraaf 3.3 gehanteerd. Voor de procesenergie wordt wel de elektriciteit voor gebruik van utilities en de fabriek (0,333 kWh/kg) gehanteerd, maar de toe te voeren warmte wordt op 0 MJ/kg gesteld omdat het om een exotherme reactie gaat.

TABEL 39 RESULTATEN VOOR IJZERCHLOROSULFAAT (FECLSO₄)

Gemodelleerd proces	GER-waarde (MJ/kg)	GER, niet-hernieuwbaar (MJ/kg)	GER, hernieuwbaar (MJ/kg)	ReCiPe-score (dPt/kg)
IJzer(III)chloorsulfaat	12,3	11,5	0,85	0,67

OPMERKING BIJ DEZE RESULTATEN

De datasheet van een producent (Christal global⁷) indiceert dat het ijzersulfaat voor ijzerchlorosulfaat ontstaat bij de productie van titaniumdioxide, dus niet uit de staalindustrie. Als dit in de praktijk inderdaad het geval is, dan zijn de hier berekende GER-waarde en ReCiPe-score waarschijnlijk een onderschatting, in verband met vermoedelijke allocatie.

De netwerkanalyse laat zien dat elektriciteit een grote bijdrage levert, omdat die mede ook nodig is in de productie van chloor en ijzersulfaat.

20 Beschrijving reactie en formules van:

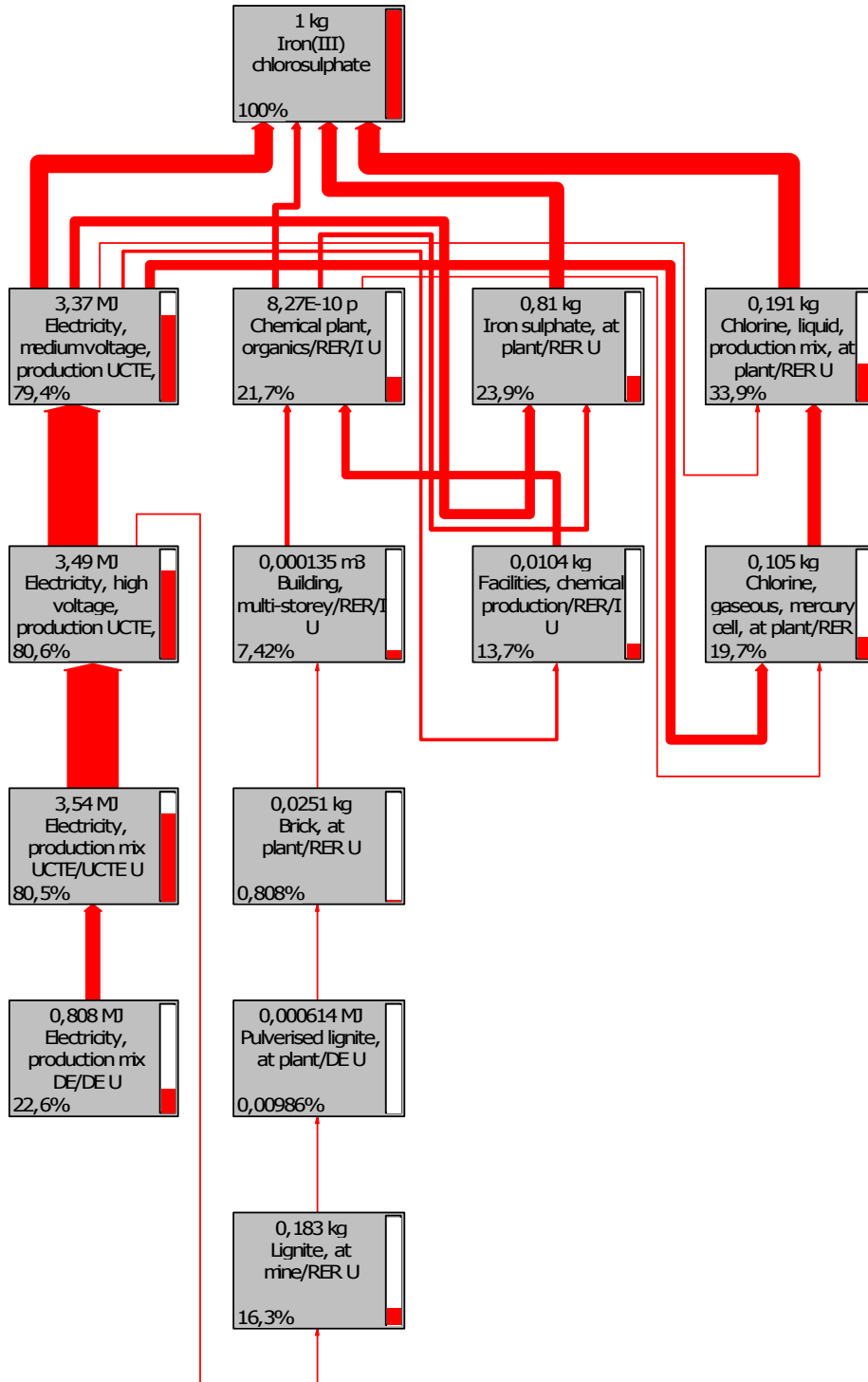
http://natura.minenv.gr/batelv/Docs/lvic-s_Copperas_related_products.pdf

http://www.cristalarabia.com/ProductDocuments/Co_Products%20FeClSO4%20Thann_7%20Nov%202008.pdf (leverancier).

21 N.B. ijzer(II)sulfaat is een ander zout dan ijzer(III)sulfaat.

FIGUUR 40

IJZERCHLOROSULFAAT (FECLSO₄), BOOMSTRUCTUUR RECIPE-SCORE, CUT-OFF 13%



5.5 KALKMELK, 300 G/L OPLOSSING VAN GEBLUSTE KALK (Ca(OH)₂)

Kalkmelk is een suspensie van gebluste kalk (calciumhydroxide), een gangbare concentratie is 300 gram per liter.²² Dit proces is niet voorhanden in Ecoinvent; de hulpstof is daartoe in SimaPro gemodelleerd.

Het maken van kalkmelk is een eenvoudig proces zonder zuivering- en scheidingsstappen. Uit de informatie van een leverancier kan geconcludeerd worden dat er geen warmte toe- of afgevoerd hoeft te worden.²³ Vandaar dat de energie die nodig is voor het proces zelf, is ingeschat als verwaarloosbaar, en voor de utility-elektriciteit de helft van de standaard aangenomen waarde van Paragraaf 3.3 is genomen: 0,167 kWh/kg. De milieu-impacts komen hiermee op de onderstaande waarden:

TABEL 40 RESULTATEN VOOR KALKMELK (300 G/L OPLOSSING VAN GEBLUSTE KALK, CA(OH)₂)

Gemodelleerd proces	GER-waarde (MJ/kg)	GER, niet-hernieuwbaar (MJ/kg)	GER, hernieuwbaar (MJ/kg)	ReCiPe-score (dPt/kg)
Kalkmelk op basis van gebluste kalk	4,3	4,0	0,3	0,3

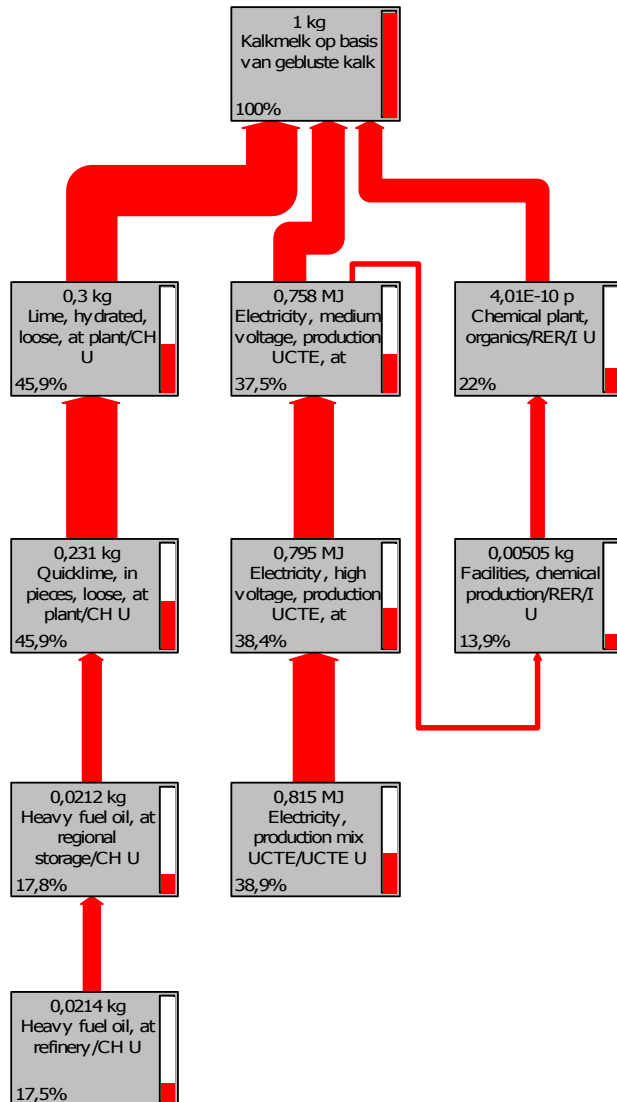
N.B. De in Tabel 40 genoemde waarden gelden voor 300gr/l kalkmelk als product, als men de waarden per aandeel droge stof wilt kennen, dan moet men de waarden aanpassen (delen door 0,3).

De netwerkanalyse is in de onderstaande figuur weergegeven. Het verwerken van de kalksteen tot kalk kost de meeste energie (in de vorm van stookolie) en zorgt voor de belangrijkste milieu-impact.

22 Specificatieblad: <http://www.carmeuse.nl/files/files/downloads/4.pdf>.

23 Leverancier voor productie van kalkmelk: http://www.rijkersbv.com/rijkers_nl/toepassingen/kalkmelk.htm.

FIGUUR 41

KALKMELK (300 G/L OPLOSSING VAN GEBLUSTE KALK, CA(OH)₂), BOOMSTRUCTUUR RECIPE-SCORE, CUT-OFF 12%

5.6 MAGNESIUMCHLORIDE (MgCl₂)

Magnesiumchloride is het magnesiumzout van chloride²⁴. De stof kan gewonnen worden uit zeewater, maar er zijn ook fossiele zoutafzettingen (bisschoffiet) met een hoge magnesiumconcentratie.

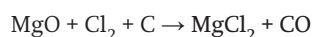
Het proces voor magnesiumchloride is niet binnen Ecoinvent voorhanden. Wel kan het proces gemaakt worden door het Ecoinvent-proces voor de productie van natriumchlorideoplossing (brijn) aan te passen aan MgCl₂.

Zo zijn twee processen gemaakt:

1. Een proces voor vloeibaar magnesiumchloride in een 54% oplossing (de oplosbaarheid van MgCl₂ · 6H₂O bedraagt 1,17 kg per liter H₂O (Binas), de oplossing met 54% droge stof is dus verzadigd).
2. Een proces voor vast magnesiumchloride, in hydraatvorm. De formule van de hydraatvorm is bijvoorbeeld MgCl₂ · 6H₂O.

²⁴ http://en.wikipedia.org/wiki/Magnesium_chloride

Een alternatief is anhydride magnesiumchloride, dit kan worden geproduceerd uit magnesiumoxide, chloor en steenkoolcokes, de reactievergelijking hiervan luidt:



Deze vorm is gemodelleerd onder de aanname dat er geen procesenergie toegevoerd hoeft te worden, behalve dan de utility energie van 0,333 kWh/kg. Voor de transportafstanden en het gebruik van de fabriek hanteren we de waarden vermeld in Paragraaf 3.3. De milieu-impact van dit proces is groter. Vermoedelijk is anhydride magnesiumchloride minder relevant in de Nederlandse rioolwaterzuiveringsinstallaties dan de andere vormen.

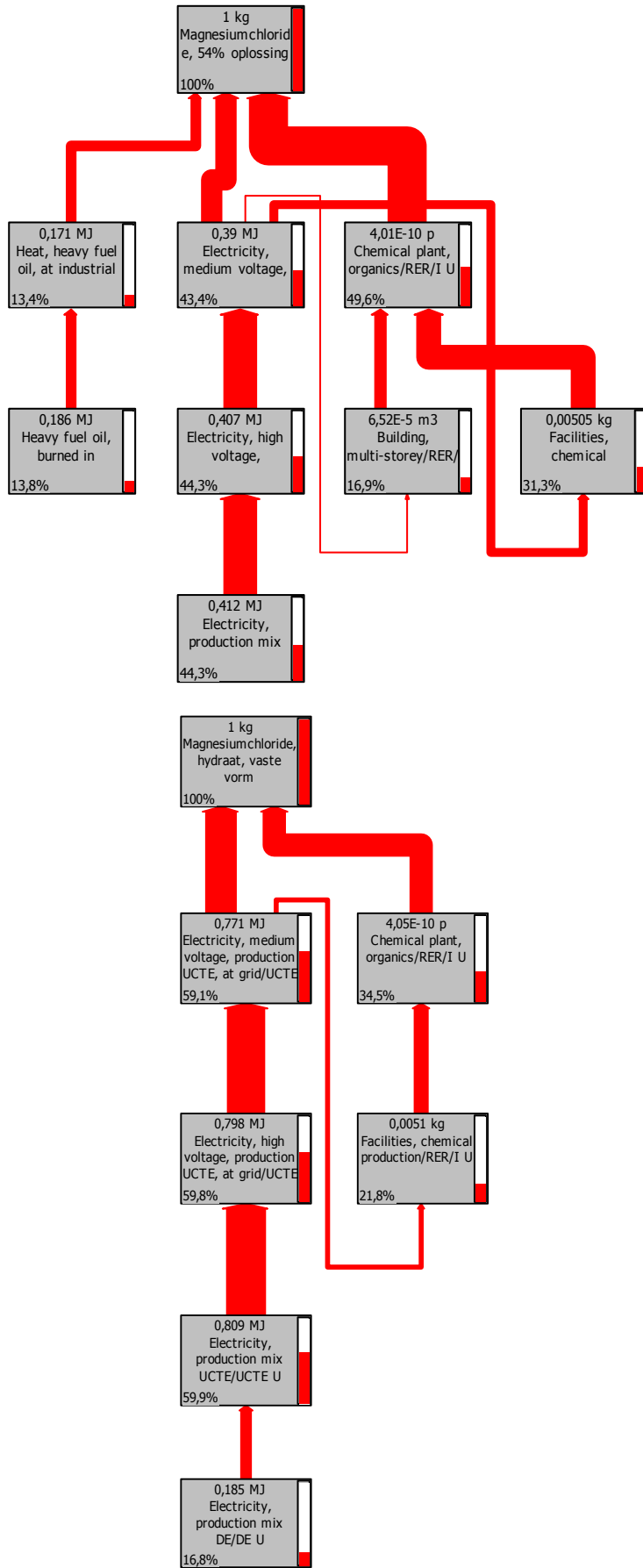
De resultaten voor de drie processen zijn als volgt:

TABEL 41 RESULTATEN VOOR MAGNESIUMCHLORIDE (MGCL₂)

Gemodelleerd proces	GER-waarde (MJ/kg)	GER, niet-hernieuwbaar (MJ/kg)	GER, hernieuwbaar (MJ/kg)	ReCiPe-score (dPt/kg)
Magnesiumchloride, 54% oplossing	2,1	2,0	0,2	0,1
Magnesiumchloride, hydraat, poedervorm	3,3	3,1	0,2	0,2
Magnesiumchloride (anhydride)	23,6	22,1	1,5	1,5

Voor het vloeibare 54%-concentraat en de hydraatvorm (het meest relevant in de Nederlandse situatie) zijn de netwerkanalyses in figuur 42 weergegeven.

FIGUUR 42 MAGNESIUMCHLORIDE (MGL2), BOOMSTRUCTUUR RECIPE-SCORE, CUT-OFF 13%



5.7 NATRIUMALUMINAAT (NaAlO₂)

Natriumaluminaat kan een vaste stof zijn of een oplossing. Het wordt gemaakt door aluminiumhydroxide met verhit (bijna kokend) natronloog te laten oplossen.²⁵

Uit de specificaties van een leverancier (Usalco) valt op te maken dat er een aantal stoffen tegelijk worden geproduceerd²⁶, naast NaAlO₂ ook Na₂O en een fractie Al₂O₃. De reactie kan als volgt verlopen:



Volgens de specificaties van het product van Usalco komen de stoffen als volgt voor (oplossing met 38% droge stof): circa 20% Al₂O₃; circa 18% Na₂O en circa 32% NaAlO₂. Voor de berekening veronderstellen we dat bovenstaande producten tezamen de fractie van 38% droge stof vormen. In dit geval is er voor 1 kg 38% oplossing de 0,34 kg aluminiumtrihydraat en 0,44 kg natronloog (in 50% oplossing) nodig. Voor de procesenergie, de transportafstanden en het gebruik van de fabriek worden de waarden vermeld in Paragraaf 3.3 gehanteerd.

TABEL 42 RESULTATEN VOOR NATRIUMALUMINAAT (NAAL02)

Gemodelleerd proces	GER-waarde (MJ/kg)	GER, niet-hernieuwbaar (MJ/kg)	GER, hernieuwbaar (MJ/kg)	ReCiPe-score (dPt/kg)
Natriumaluminaat oplossing 38% droge stof	21,3	20,3	1,1	1,3

Het product Refinal 6 van Melspring wordt volgens de fabrikant gemaakt uit secundaire minerale grondstoffen (opgewerkte afvalproducten). In dat geval zijn bovenstaande waarden voor dit product waarschijnlijk te hoog in verband met vermoedelijk andere allocatie.²⁷

De netwerkanalyse is hieronder weergegeven. De grondstoffen zijn de grootste component in de milieu-impact; natronloog is daarvan het meest belangrijk.

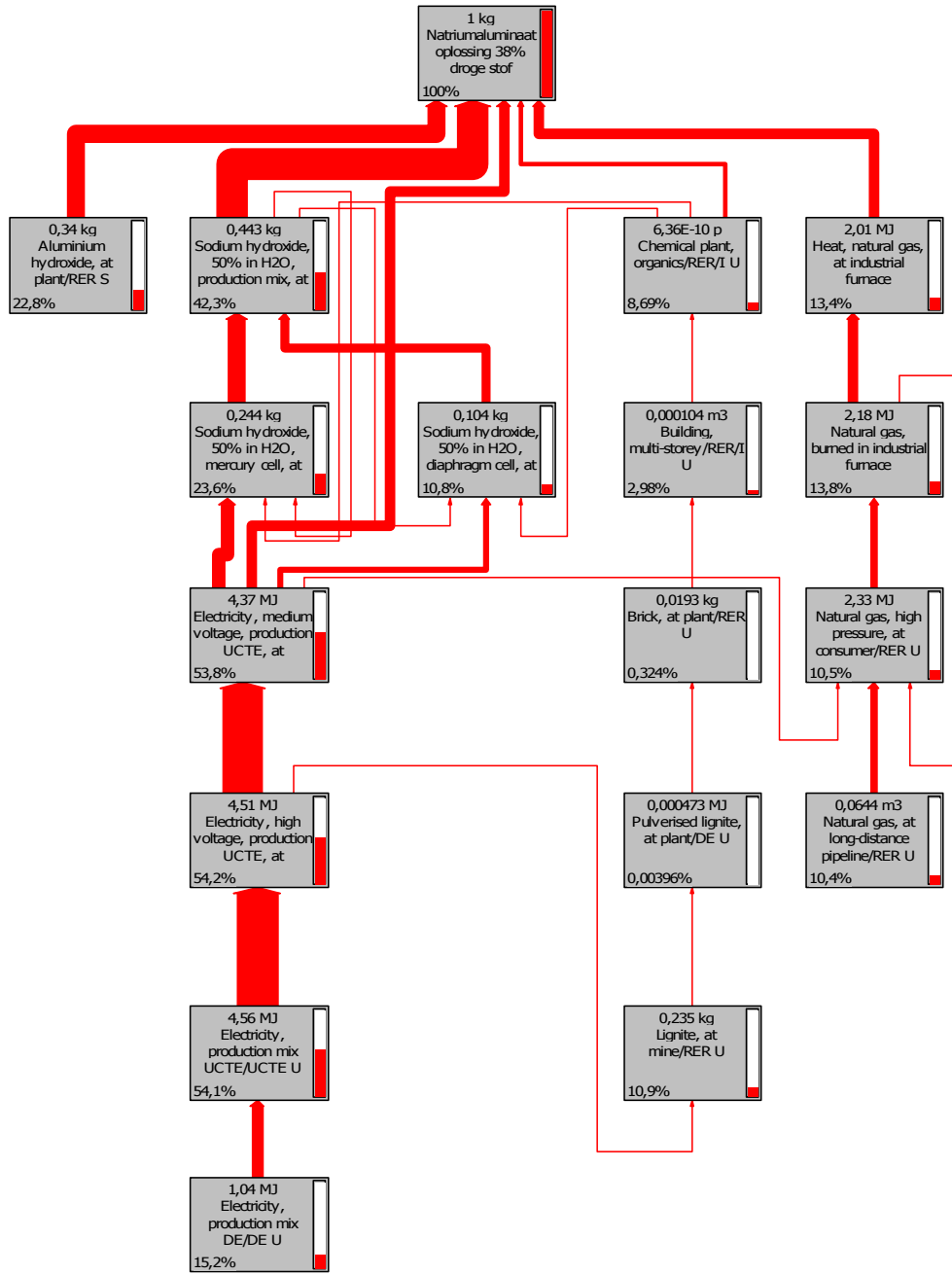
25 http://en.wikipedia.org/wiki/Sodium_aluminate.

26 <http://www.usalco.com/products/liquid-sodium-aluminate>.

27 <http://www.watermelspring.com/rioolwater/?page=Refinal%206&id=145>.

FIGUUR 43

NATRIUMALUMINAAT (NAAL02), BOOMSTRUCTUUR RECIPE-SCORE, CUT-OFF 10%



5.8 POLY-ALUMINIUMCHLORIDE ($Al_nCl_{(3n-m)}(OH)_m$)

Polyaluminiumchloride, ook wel aluminiumchlorhydraat, is het polymeerzout van aluminiumchloride. De formule is $Al_nCl_{(3n-m)}(OH)_m$ waarbij de n- en de m- indices variabel zijn omdat het gaat om een polymeer²⁸. Het verschil ten opzichte van aluminiumchloride zit in de productie: $AlCl_3$ wordt gemaakt uit aluminiumoxide (Al_2O_3) en zoutzuur, polyaluminiumchloride wordt gemaakt uit aluminiumhydroxide ($Al(OH)_3$) en zoutzuur.

De stof is niet voorhanden in Ecoinvent, daarom is deze gemodelleerd volgens de volgende aannames:

- ketenlengte n = 10;
- chloor- en hydroxidegroepen in gelijke verhoudingen;
- volgens de waarden beschreven in Paragraaf 3.3;
- procesenergie (bijvoorbeeld om het zout te drogen - bij de reactie ontstaat water);
- transportafstanden van de grondstoffen;
- gebruik van de fabriek.

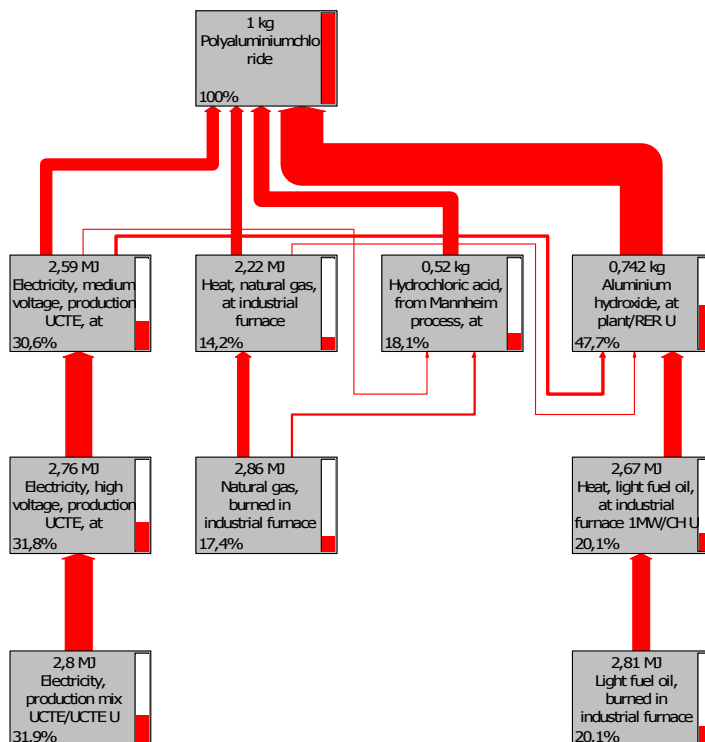
De uitkomsten zijn in de onderstaande tabel weergegeven:

TABEL 43 RESULTATEN VOOR POLY-ALUMINIUMCHLORIDE ($Al_nCl_{(3n-m)}(OH)_m$)

Gemodelleerd proces	GER-waarde [MJ/kg]	GER, niet-hernieuwbaar [MJ/kg]	GER, hernieuwbaar [MJ/kg]	ReCiPe-score [dPt/kg]
Poly aluminium chloride	19,45	18,7	0,7	1,3

De milieupact wordt voor ongeveer de helft veroorzaakt door de vervaardiging van aluminiumhydroxide (zie de netwerkanalyse in Figuur 44).

FIGUUR 44 POLY-ALUMINIUMCHLORIDE ($Al_nCl_{(3n-m)}(OH)_m$), BOOMSTRUCTUUR RECIPE-SCORE, CUT-OFF 14%

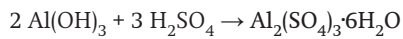


28 <http://nl.wikipedia.org/wiki/Aluminiumchlorhydraat>. Voor de berekening is aangenomen dat de ketenlengte n = 10 en m = 15; dus hydroxy en chloride groepen in gelijke verhoudingen.

5.9 POLY-ALUMINIUMSULFAAT ($[AL_2(SO_4)_3 \cdot NH_2O]_M$)

Over de productie van 'poly-aluminiumsulfaat' is geen specifieke informatie verkregen, daarom is de polymerisatie van aluminiumsulfaat gemodelleerd. Aluminiumsulfaat is wel voorhanden in Ecoinvent. Voor de procesenergie, de transportafstanden en het gebruik van de fabriek zijn de waarden gehanteerd zoals vermeld in Paragraaf 3.3.

Aluminiumsulfaat kan in aanwezigheid van water diverse hydratevormen aannemen. Het hexahydraat van aluminiumsulfaat wordt als volgt uit aluminiumhydroxide en zwavelzuur verkregen:²⁹



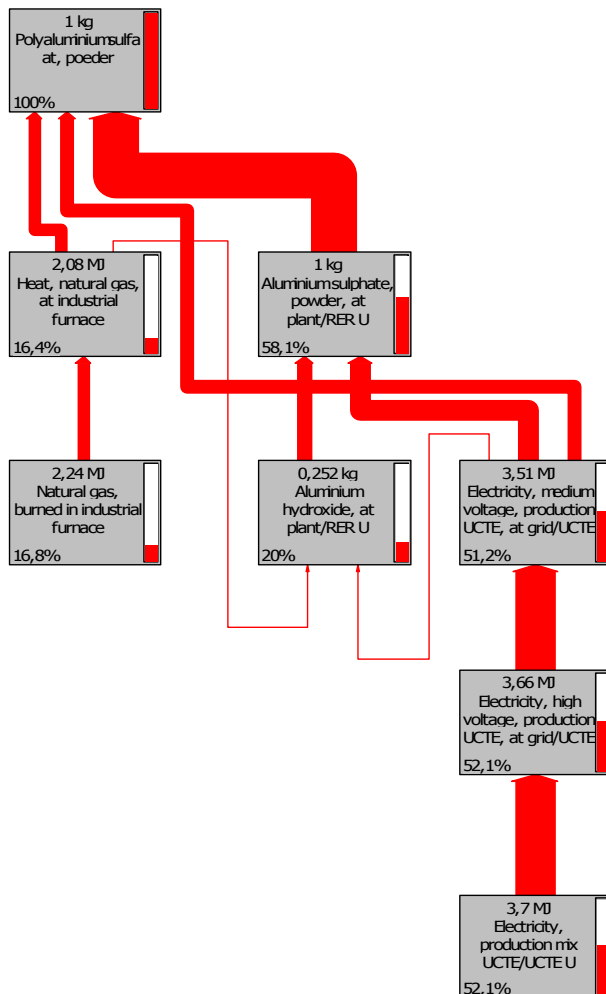
De berekende impacts zijn als volgt:

TABEL 44 RESULTATEN VOOR POLY-ALUMINIUMSULFAAT ($[AL_2(SO_4)_3 NH_2O]_M$)

Gemodelleerd proces	GER-waarde (MJ/kg)	GER, niet-hernieuwbaar (MJ/kg)	GER, hernieuwbaar (MJ/kg)	ReCiPe-score (dPt/kg)
Polyaluminiumsulfaat (poeder)	17,3	16,4	0,8	1,1

De milieu-impact ontstaat door de vervaardiging van aluminiumsulfaat, zie Figuur 45.

FIGUUR 45 POLY-ALUMINIUMSULFAAT ($[AL_2(SO_4)_3 NH_2O]_M$), BOOMSTRUCTUUR RECIPE-SCORE, CUT-OFF 15%



²⁹ Wikipedia, zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium_sulphate

5.10 POLY-ELECTROLIET/POLYMEREN

In de afvalwaterzuivering worden verschillende poly-electrolyten (kortweg polymeren) gebruikt voor meerdere doeleinden in de RWZI: slib indikken en ontwateren; voorprecipitatie. Polymeren worden in zowel vaste (poeder) als vloeibare vorm (emulsie in olie) gebruikt. De werkzame stoffen zijn acrylamidepolymeren met een ionische lading en uiteenlopende actieve groepen.

STOWA 95-17³⁰ levert de volgende informatie over de verschillende vormen polymeren die gebruikt worden in de RWZI:

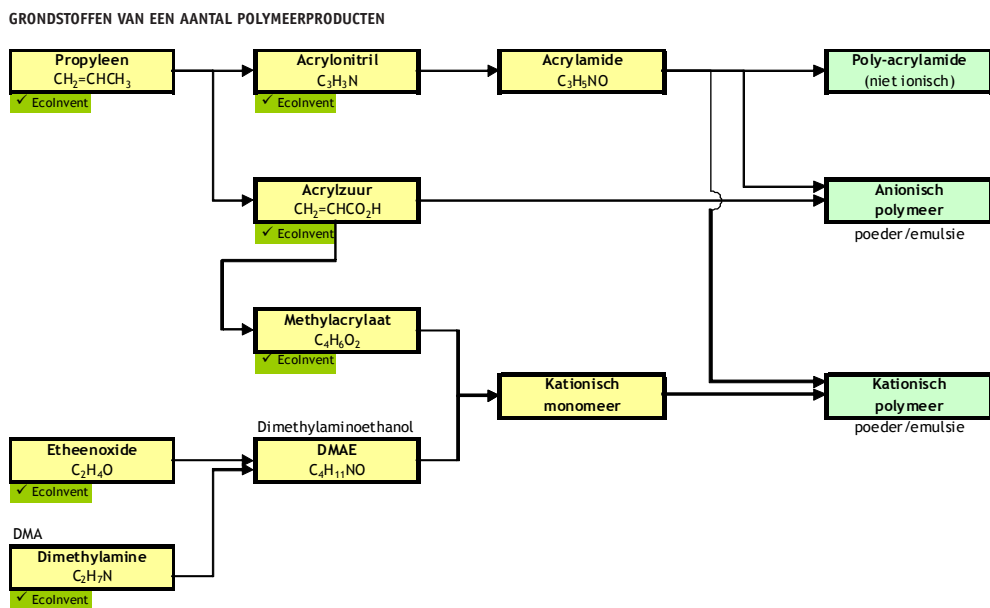
- zonder geladen groep: homopolymeer van poly-acrylamide;
- met negatief geladen groep: anionisch poly-acrylamide;
- met positief geladen groep: kationisch poly-acrylamide.

Van de laatste hoofdvorm, de kationische poly-acrylamides, zijn de belangrijkste:

- copolymeer van acrylamide en acrylzuurderivaat;
- copolymeer van acrylamide en gequaterniseerd acrylzuurderivaat;
- gequaterniseerd kationisch amino-gemethyleerd poly-acrylamide, uit de Mannich reactie van acrylamide met ammonia, formaldehyde en dimethylamine; hierbij vindt de quaternisatie plaats na de polymerisatie.

Bij de anionische en kationische vormen worden naast acrylamide monomeer ook andere monomeren ingebouwd. De gequaterniseerde kationische vormen zijn de meest complexe moleculen. Door de variaties aan toegepaste bouwstenen bestaat er een grote variëteit aan producten. Toch lijkt het productieproces van de meeste polymersoorten op elkaar, waardoor waardes voor energie en milieu-impact van de productie van een aantal hoofdvormen kunnen worden berekend. Informatie over de productieroutes en grondstoffen werd verkregen uit R. Sieger e.a. (2005)³¹. Figuur 46 geeft op basis hiervan voor de drie hoofdvormen polymeer de route hoe deze uit de grondstoffen geproduceerd worden.

FIGUUR 46



30 STOWA (1995), Onderzoek naar de milieubezwaarlijkheid van polyelectrolyten in rwzi's, 95-17.

31 R.B. Sieger, P. Brady, R. Bates (2005). *Polymer shortage: real or not?* – Paper over de kosten van polymeerproducten. Van: http://www.chemtrac.com/products/scm/documents/Polymer_Shortage.pdf.

Het kationisch polymeer dat is aangegeven in de figuur komt ruwweg overeen met het eerste kationische type uit STOWA 95-17: het copolymeer van acrylamide met acrylzuurderivaat. De polymeervormen aan de rechterkant van de figuur modelleren we in SimaPro op basis van de aangegeven grondstoffen. Het zijn vooral de anionische en kationische vormen die in de RWZI gebruikt worden voor voorprecipitatie en slibverwerking.

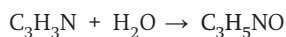
5.10.1 MODELLEN POLY-ELECTROLIET

In Figuur 46 is aangegeven welke grondstoffen in Ecoinvent bestaan. Belangrijk hierbij zijn vooral acrylonitril, de grondstof voor acrylamide, en acrylzuur. Processen die niet in Ecoinvent bestaan zijn zelf gemodelleerd.

Voor kationisch polymeer modelleren we een kationisch monomeer op basis van methacrylaat (een acrylzuur derivaat) en dimethylaminoethanol (DMAE). Voor de stof DMAE bestaat ook geen Ecoinvent-proces, het productieproces van deze stof uit ethyleenoxide (EtOx) en dimethylamine (DMA) is dus ook gemodelleerd. Het kationische monomeer wordt met acrylamide gecopolymeriseerd tot het kationische polymeerproduct. De laatste stap is het modelleren van het verschil tussen de poedervorm en de 50% geconcentreerde emulsievorm.

ACRYLAMIDE

Acrylamide wordt gemaakt uit de hydratatie van acrylonitril:



De procesenergie voor deze stap is overgenomen van het Ecoinvent-proces voor de hydratatie van ethyleen → ethanol. Deze energie bedraagt 2,9 MJ aan 'Heat, unspecified, in chemical plant', en 0,017 kWh elektriciteit per kilogram ethanol. Transportafstanden zijn niet aangepast ten opzichte van de standaardwaarden (Paragraaf 3.3).

MODEL VOOR DMAE (DIMETHYLAMINOETHANOL)

De grondstoffen voor DMAE³², te weten ethyleenoxide en DMA (dimethylamine), bestaan binnen Ecoinvent, zie ook Figuur 46. Het procesmodel voor DMAE is gemodelleerd op basis van de reactievergelijking:



Voor de procesenergie, de transportafstanden en het gebruik van de fabriek worden de waarden vermeld in Paragraaf 3.3 gehanteerd.

MODEL VOOR KATIONISCH MONOMEER

Het model van een DMAE/methylacrylaat kationisch monomeer is op basis van de volgende reactievergelijking:



De grondstof DMAE is gemodelleerd (zie boven); methylacrylaat is voorhanden binnen Ecoinvent. Voor de procesenergie en andere parameters worden de standaardwaarden vermeld in Paragraaf 3.3 gehanteerd.

32 <http://nl.wikipedia.org/wiki/2-dimethylaminoethanol>

POLYMERISATIE/COPOLYMERISATIE

Voor de polymerisatie van acrylamide monomeer tot poly-acrylamide worden ook de procesenergie en andere parameters uit Paragraaf 3.3 gehanteerd.

Bij copolymerisatie gaan we uit van een afwisselende polymeerstructuur waarbij acrylamide monomeer zich 1:1 verhoudt met kationisch/anionisch monomeer. In de werkelijkheid worden aangepaste verhoudingen gebruikt, afhankelijk van de functie van de polymeer. Bij de 1:1 molverhouding gaat het om een verhouding van 30% acrylamide versus 70% kationisch monomeer, op massabasis.

VLOEIBARE (EMULSIE) EN VASTE (POEDER) VORMEN

Polymeerproducten bestaan in poedervorm en in emulsievorm. Er wordt aangenomen dat het (kationische) poederproduct 100% zuiver kristallijn polymeer bevat, waarvan 30% polyacrylamide aandeel op massabasis. Het vloeibare product is gemodelleerd als een emulsie met een 50% polymeeraandeel. Het polyacrylamide gedeelte is dan, op massabasis, 15% van het totaal.

De productieroutes voor vloeibaar en vast product verschillen in de praktijk, dit verschil is echter niet gemodelleerd. Het vloeibare product wordt verkregen door 25% minerale olie ("Lubricating oil, at plant/RER") en 25% water (deionised) te mengen met het zuivere polymeerproduct. Andere stoffen in de emulsie (stabilisatoren, emulgatoren, conserveermiddelen, water) zijn niet meegenomen.

5.10.2 UITKOMSTEN POLY-ELECTROLIET

De uitkomsten zijn in de tabel hieronder weergegeven.

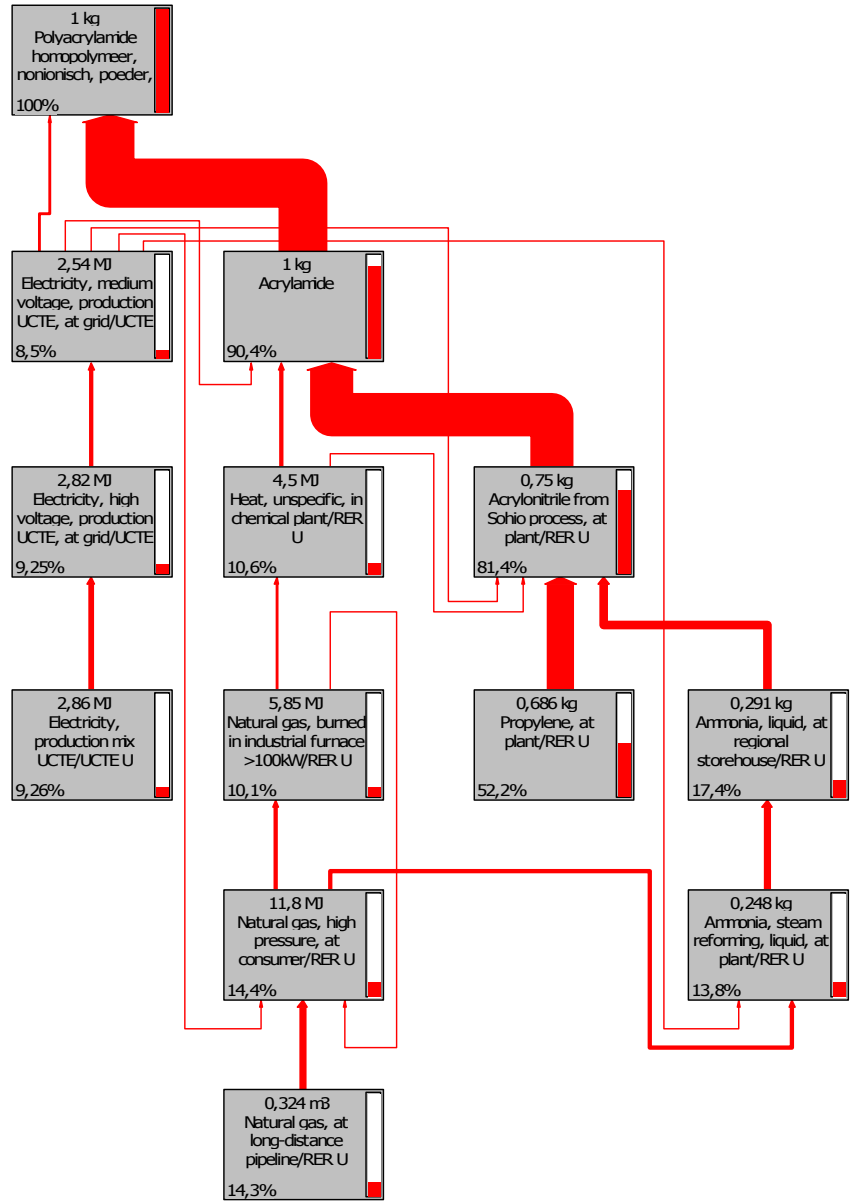
TABEL 45 RESULTATEN VOOR POLY-ELECTROLIET/POLYMEREN

Gemodelleerd proces	GER-waarde (MJ/kg)	GER, niet-hernieuwbaar (MJ/kg)	GER, hernieuwbaar (MJ/kg)	ReCiPe-score (dPt/kg)
Polyacrylamide homopolymeer, nonionisch, poeder, 99% zuiver	79,3	78,2	1,1	4,6
Polyacrylamide, anionisch, vloeibaar, emulsie 50%	62,2	61,4	0,8	3,4
Polyacrylamide, anionisch, poeder 99% zuiver	76,6	75,6	1,0	4,4
Polyacrylamide, kationisch, vloeibaar, emulsie 50%	66,7	65,7	1,0	3,6
Polyacrylamide, kationisch, poeder 99% zuiver	85,6	84,2	1,5	4,9

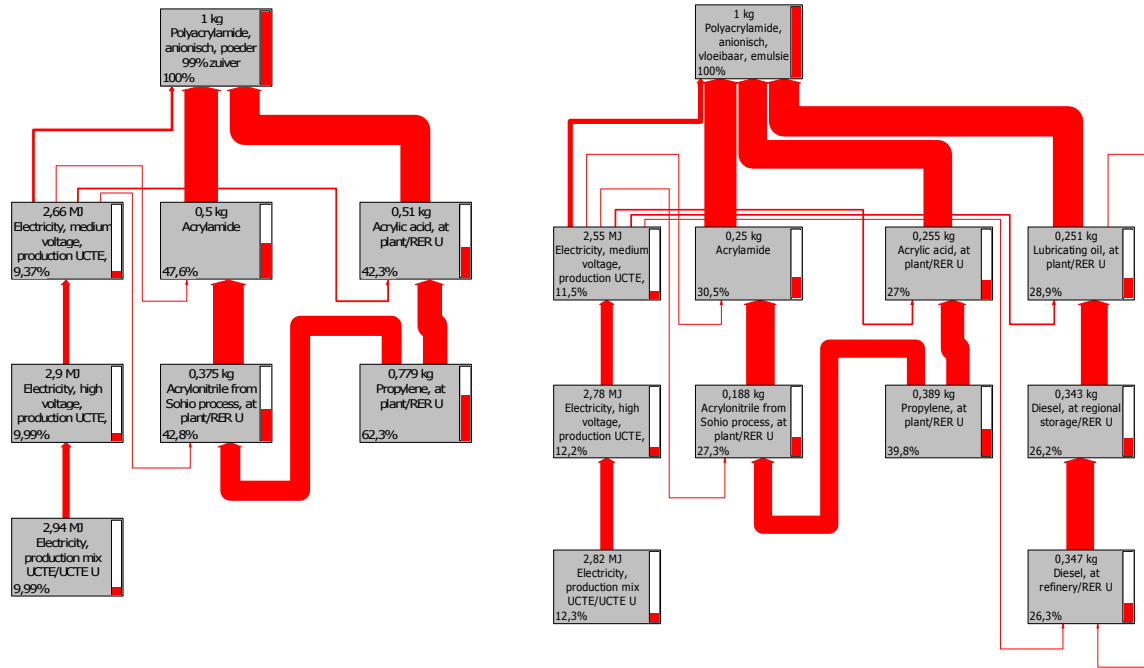
Het valt bij de berekende uitkomsten op dat de milieu-impact per kg polymeerproduct minder verschilt tussen vloeibaar en vast product dan het verschil in concentratie actief polymeer. Dit heeft te maken met de minerale olie die gebruikt wordt in de emulsie, ("Lubricating oil, at plant/RER"), de GER-waarde hiervan bedraagt 79,9 MJ/kg en de ReCiPe-score bedraagt 3,92 dPt/kg. Dit zijn dus relatief hoge waarden. Zie ook de netwerkanalyses hieronder. De GER-waarde van het water in de emulsie is niet significant.

FIGUUR 47

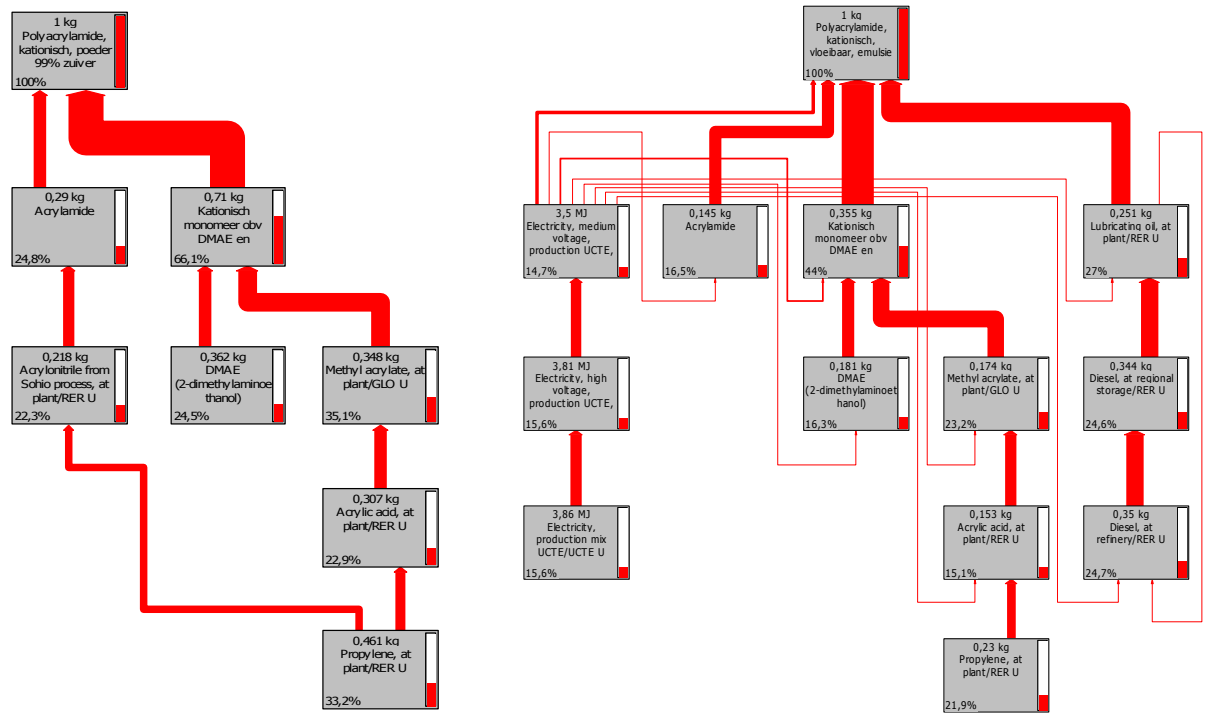
NON-IONISCH POLYMEER, BOOMSTRUCTUUR RECIPE-SCORE, CUT-OFF 9,2%



FIGUUR 48 ANIONISCH POLYMEER, VAST EN VLOEIBAAR, BOOMSTRUCTUUR RECIPE-SCORE, CUT-OFF 9,3% RESP. 10%



FIGUUR 49 KATIONISCH POLYMEER, VAST EN VLOEIBAAR, BOOMSTRUCTUUR RECIPE-SCORE, CUT-OFF 19% RESP. 15%



6

RESULTATEN EN CONCLUSIES

6.1 RESULTATEN

Dit onderzoek heeft zich ten doel gesteld om voor de productie van hulpstoffen, die gebruikt worden in de drinkwaterproductiebedrijven en rioolwaterzuiveringsinstallaties, de energie (GER-waarden) en milieu-impact van de productie te bepalen (ReCiPe-scores). Als uitgangspunt is hiervoor (waar mogelijk) fabrikantspecifieke informatie benut, aangevuld met openbare informatie en LCI-databases. De opgestelde tabelwaarden zijn toegelicht in deze rapportage.

De opgestelde tabelwaarden geven inzage in gemiddelde cijfers voor algemene productieprocessen van de hulpstoffen en omvatten de effecten van de **productie van de stof** (zie afbakening, paragraaf 3.1). De opgestelde tabelwaardes kennen een onzekerheid en het gebruik hiervan kan aan regels gebonden zijn (bv. vanuit ISO 14040). Een doel, waarbij deze tabelwaarden goed toepasbaar zijn, kan zijn *om in de context van het drinkwaterproductie- of afvalwaterzuiveringsproces inzicht te verkrijgen in 'hotspots' op het gebied van milieubelasting en energie-impact*.

Een compact overzicht van de berekende GER-waarden en ReCiPe-scores is weergegeven in Tabel 46. Uitsplitsing naar méér subcategorieën van de impactanalysemethode Cumulative Energy Demand is opgenomen in Tabel 47. In de tabellen is in de tweede kolom aangegeven met welke berekeningswijze de resultaten tot stand zijn gekomen: het productieproces is gemodelleerd of rechtstreeks ontleend uit de Ecoinvent database.

6.2 ALGEMENE OPMERKINGEN

Uit de verkregen resultaten kan worden geconcludeerd dat voor de meeste onderzochte stoffen geldt dat de uitkomsten van de energianalyse goed overeenkomen met de uitkomsten van de milieukundige analyse (hoge correlatiecoëfficiënt). Voor een aantal stoffen is het beeld wel duidelijk anders: hier laat de ReCiPe-score een duidelijk andere impact zien, relatief, dan de GER-waarde.

Met name bij een aantal stoffen met een biogene component blijkt de milieuimpact van de productie relatief geringer, in verhouding tot de GER-waarde. Dit geldt het sterkst voor houtchips, houtskool en melasse. Bij een aantal minerale grondstoffen is dit andersom, de meest afwijkende drie zijn hier de stoffen magnesiumoxide, zwavelzuur en ongebluste kalk. Deze stoffen laten een duidelijk grotere milieubelasting zien dan de GER-waarde.

Het wordt dus aanbevolen om bij het werken met de tabelwaarden, ook het milieuaspect mee te nemen wanneer de resultaten uit deze studie in een analyse worden gebruikt.

6.3 AANDACHTSPUNTEN FOSFAATTERUGWINNING UIT AFVALWATER

Dit rapport bevat informatie wat als input kan dienen voor studies naar de wijze waarop met fosfaatverwijdering uit afvalwater kan worden omgegaan. Voor verschillende alternatieven kan bekeken worden welke chemicaliën in welke hoeveelheden benodigd zijn en welke energiebehoefte daaraan gekoppeld is voor de productie ervan. Dit kan helpen bij keuze voor inzet van verschillende soorten metaalzouten. Het volledig doorrekenen van verschillende vormen van fosfaatterugwinning op het gebied van energie is echter niet mogelijk op basis van de informatie van dit rapport. De reden hiervoor is als volgt.

In de praktijk wordt momenteel vooral fosfaat teruggewonnen door

- struviet te produceren uit een (deel)stroom van de RWZI waardoor kunstmest wordt vervangen
- fosfor te produceren uit de verbrandingsassen van RWZI-slib

Verder zijn er nieuwe technologieën in opkomst waarbij de verbrandingassen van zuiverings-slib worden gebruikt als grondstof voor de productie van fosforhoudende meststoffen (bijvoorbeeld het Ashdec-proces).³³

De GER-waarden en Recipe-scores van fosfor, kunstmest en struviet kunnen in de eerste plaats niet met elkaar worden vergeleken omdat fosfor een hoogwaardige grondstof is. Fosfor kan worden ingezet voor vele doeleinden. Struviet of kunstmest kunnen alleen als zodanig worden ingezet. Verder zijn er voor elke terugwinroute nog een aantal andere aandachtspunten:

STRUVIETPRODUCTIE

Wanneer een vergelijking wordt gemaakt om energie in de kunstmestproductie te besparen, dan dient allereerst bepaald te worden welke stof door struviet vervangen wordt. In dit rapport is de GER-waarde berekend van diammoniumfosfaat. De productie van 1 kg diammoniumfosfaat kost 23,1 MJ aan energie. Vergelijking van diammoniumfosfaat met struviet is echter niet mogelijk doordat struviet één mol ammonium per mol fosfaat bevat en diammoniumfosfaat twee. Bovendien is de werkingsgraad van struviet anders. In veel studies wordt uitgegaan van 75%, maar hier is slechts beperkt onderzoek naar gedaan. Bovendien is voor het produceren van struviet energie nodig voor menging en beluchting en dosering van chemicaliën zoals magnesiumchloride. Tenslotte kunnen er vele effecten zijn op de overige RWZI-processen zoals de benodigde hoeveelheid metaalzouten voor fosfaatverwijdering in de waterlijn, het drogestofgehalte van ontwaterd slib en de biogasproductie. Al deze parameters veranderen de energiebalans van een specifieke RWZI waarop struvietproductie wordt gerealiseerd, maar zijn erg locatiespecifiek.

33 Voor meer informatie over fosfaatterugwinning uit afvalwater, inclusief de doorrekening van een aantal cases op het gebied van struvietproductie en fosfor- en kunstmestproductie uit verbrandingassen van RWZI-slib, wordt verwezen naar de STOWA rapporten 2011-24: Fosfaatterugwinning in communale afvalwaterzuiveringsinstallaties en 2007-31: fosfaatterugwinning uit ijzerarm slib van rioolwaterzuiveringsinrichtingen.

FOSFORPRODUCTIE

Fosfor kan in de huidige situatie worden geproduceerd uit RWZI-slib via de SNB-Thermphosroute. Na monoverbranding van RWZI-slib bij SNB kan Thermphos het verbrandingsgas inzetten als een alternatieve bron voor fosfaaterts. Hierbij geldt wel de randvoorwaarde dat het slib ijzerarm moet zijn. Door verbrandingsgas van RWZI-slib bij Thermphos in te zetten, wordt er nauwelijks energie bespaard. De energiebalans van de productie van fosfor bij Thermphos blijft gelijk. Alleen de energie van winning van fosfaat in de groeve wordt vermeden. Terugwinning van fosfor via deze route levert op dit vlak daarom nauwelijks energetisch voordeel op. Deze route is echter zonder aanvullende maatregelen te verwezenlijken zoals de bouw van installaties en de daarvoor benodigde energie en chemicaliën op een RWZI.

Fosfor is een eindige grondstof. Winning van fosfor beïnvloedt het milieu momenteel nadelig, maar vanwege de lage impact komt dit niet tot uiting in de huidige modellen. Voor de toekomst zal deze milieu-impact naar verwachting stijgen in verband met de eindigheid van deze grondstof.

Vanwege bovenstaande is het bepalen van het energetisch voordeel van struvietproductie uit afvalwater ten opzichte van kunstmest- of fosforproductie niet mogelijk. Hiervoor dient (locatie)specifiek nader onderzoek te worden verricht.

6.4 AANBEVELINGEN VOOR VERVOLGONDERZOEK

Voor vervolgonderzoek is het aan te bevelen nader onderzoek te doen naar energetische en milieukundige aspecten rondom de terugwinning van fosfaat uit afvalwater ten opzichte van kunstmest- of fosforproductie (zie paragraaf 6.3).

Verder is het aanbevelenswaardig de hier gepresenteerde lijst aan te vullen met een aantal stoffen. Voor de waterproductiebedrijven zou dit kunnen gaan om harsen voor ionenwisselaars, een aantal mineralen en afgeleide zouten, en membranen. Voor deze materialen zijn hoogstwaarschijnlijk fabrikantgegevens benodigd.

- Er wordt in de waterproductie steeds meer gebruik gemaakt van ionenwisselaars, welke harsen bevatten, die na een bepaalde gebruiksduur vervangen dienen te worden. Het gaat om vrij complexe chemische verbindingen.
- Een aantal gebruikte mineralen en afgeleide zouten zijn niet onderzocht in studie, zoals mangaanchloride (MnCl).
- Stoffen toegepast in membraanfiltersystemen

Tenslotte is het interessant om de relatie tussen de uitkomst van de milieukundige analyse en de energieanalyse voor de meest belangrijke gebruikte hulpstoffen verder uit te diepen, ook op het gebied van CO₂-footprint.

TABEL 46 OVERZICHT RESULTATEN STOFFEN

	Bron ³⁵	GER-waarde totaal	GER - aandeel niet hernieuwbaar	GER - aandeel hernieuwbaar	ReCiPe-score
		MJ/kg	MJ/kg	MJ/kg	[dPt/kg]
Actieve kool	M	164	163	1,8	9,4
Actieve kool, geregenereerd	M	43,1	42,5	0,6	2,6
Aluminiumchloride, hydraatvorm	M	14,9	14,3	0,6	1,0
Aluminiumsulfaat, poedervorm	E	9,4	8,9	0,5	0,61
Antiscalants (polycarboxylaten, 40% actieve stof)	E	29,6	29,0	0,6	1,7
Antraciet (filtermateriaal)	M	31,3	31,0	0,2	1,5
Azijnzuur (98% in H ₂ O)	E	53,4	52,2	1,1	2,8
Bio-ethanol (99,7% puur)	E	70,7	23,2	47,5	6,4
Calciumoxide (poeder) (ongebluste kalk)	E	5,8	5,5	0,3	0,62
Chloor, vloeibaar, productiemix	E	21,9	20,5	1,4	1,2
Chloorgas, kwikcelproces	E	22,6	21,2	1,4	1,2
Chloorgas, membraanproces	E	18,9	17,7	1,2	1,0
Diammoniumfosfaat	E	23,1	22,2	0,9	2,2
Diesel, laagzwavelig	E	54,8	54,7	0,1	2,6
Akdoliet	E	0,5	0,5	0,0	0,03
Filterzand (NL/BE/DLD) bij leverancier	M	0,4	0,4	0,0	0,03
Glycerine uit epichloorhydrine	E	102	98,5	3,9	5,9
Glycerine uit koolzaadolie	E	100	34,5	65,5	7,7
Granaatzand (Australië), bij leverancier	M	4,1	4,1	0,1	0,32
Hout chips, mixed, u=120%	E	20,7	0,5	20,2	0,26
Houtskool	E	68,9	2,0	66,9	1,6
IJzer(III)chloride, 40% in H ₂ O	E	16,3	15,2	1,2	0,92
IJzerchloridesulfaat	M	12,3	11,5	0,8	0,67
IJzersulfaat	E	3,4	3,2	0,3	0,19
Kalkhydraat	E	4,4	4,2	0,2	0,47
Kalkmelk op basis van gebluste kalk	M	4,3	4,0	0,3	0,31
Kalksteen, krijt en marmer gemalen	E	0,4	0,3	0,1	0,02
Koolstofdioxide, vloeibaar	E	10,9	10,5	0,4	0,75
Magnesiumchloride, 54% oplossing	M	2,1	2,0	0,2	0,14
Magnesiumchloride, anhydride	M	23,6	22,1	1,5	1,5
Magnesiumchloride, hydraat, vaste vorm	M	3,3	3,1	0,2	0,20
Magnesiumoxide	E	2,8	2,7	0,1	0,67
Melasse uit suikerbieten	E	6,2	1,4	4,8	0,18
Methanol	E	37,6	37,4	0,1	1,9
Natriumaluminaat oplossing 38% droge stof	M	21,3	20,3	1,1	1,3
Natriumchloride (zout), poedervorm	E	3,3	3,1	0,2	0,20
Natriumhypochloriet, 15% in H ₂ O	E	17,5	16,4	1,0	1,0

	Bron ³⁵	GER-waarde totaal	GER - aandeel niet hernieuwbaar	GER - aandeel hernieuwbaar	ReCiPe-score
Natronloog, 50% in H2O, kwikcelproces	E	22,5	21,1	1,4	1,2
Natronloog, 50% in H2O, membraanproces	E	20,7	19,4	1,3	1,1
Natronloog, 50% in H2O, productiemix	E	22,8	21,4	1,4	1,2
Polyacrylamide homopolymeer, non-ionisch, poeder, 99% zuiver	M	79,3	78,2	1,1	4,6
Polyacrylamide, anionisch, poeder 99% zuiver	M	76,6	75,6	1,0	4,4
Polyacrylamide, anionisch, vloeibaar, emulsie 50%	M	62,2	61,4	0,8	3,4
Polyacrylamide, kationisch, poeder 99% zuiver	M	85,6	84,2	1,5	4,9
Polyacrylamide, kationisch, vloeibaar, emulsie 50%	M	66,7	65,7	1,0	3,6
Polyaluminiumchloride	M	19,4	18,7	0,7	1,3
Polyaluminiumsulfaat, poeder	M	17,3	16,4	0,8	1,1
Single superphosphate (SSP)	E	49,3	46,7	2,6	3,5
Steenkoolcokes	E	40,2	39,9	0,3	2,1
Triple superfosfaat (TSP)	E	33,7	32,2	1,5	2,7
Waterstofperoxide, 50% in H2O	E	22,8	22,2	0,6	1,4
Witte fosfor, vloeibaar, Ecoinvent-proces aangepast (fosfaaterts uit VS+Marokko)	E	220	209	11	11,5
Zilverzand (NL/BE/DLD) bij leverancier	M	0,4	0,4	0,0	0,03
Zoutzuur 36% in H2O, uit de reactie van propyleen en chloor	E	2,4	2,3	0,1	0,12
Zoutzuur uit de reactie van waterstof en chloor	E	28	26,4	1,7	1,5
Zoutzuur uit het Mannheim proces	E	7,0	6,6	0,3	0,45
Zuurstof (vloeibaar)	E	8,8	8,2	0,5	0,43
Zwavelzuur, vloeibaar	E	2,1	2,0	0,1	0,25

³⁵ E= Ecoinvent-database; M = gemodelleerd o.b.v. literatuur/fabrikant informatie.

TABEL 47 UITGEBREIDER OVERZICHT RESULTATEN STOFFEN

	Bron ³⁵	Total MJ/kg	Non renewable, fossil		Non-renewable, nuclear		Non-renewable, biomass		Renewable, solar, geother		Renewable, water		ReciPe- score [dPt/kg]
			MJ/kg	MJ/kg	MJ/kg	MJ/kg	MJ/kg	MJ/kg	MJ/kg	MJ/kg			
1	M	164,32	153,68	8,85	0,00	0,55	0,17	1,08	9,39				
2	M	43,13	39,15	3,37	0,00	0,14	0,06	0,41	2,62				
3	M	14,88	11,54	2,74	0,00	0,17	0,05	0,37	0,96				
4	E	9,39	6,35	2,58	0,00	0,10	0,05	0,31	0,61				
5	E	29,57	26,13	2,87	0,00	0,18	0,04	0,35	1,67				
6	M	31,25	30,80	0,25	0,00	0,18	0,00	0,03	1,53				
7	E	53,35	46,28	5,93	0,00	0,27	0,11	0,76	2,77				
8	E	70,66	20,91	2,27	0,00	47,07	0,03	0,38	6,43				
9	E	5,82	5,02	0,48	0,00	0,01	0,00	0,32	0,62				
10	E	21,88	12,75	7,75	0,00	0,32	0,14	0,92	1,15				
11	E	22,59	13,14	8,01	0,00	0,33	0,15	0,95	1,21				
12	E	18,94	11,10	6,63	0,00	0,29	0,12	0,79	0,98				
13	E	23,09	19,03	3,12	0,02	0,39	0,05	0,48	2,19				
14	E	54,78	53,93	0,72	0,00	0,03	0,01	0,08	2,65				
15	E	0,53	0,37	0,14	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03				
16	M	0,41	0,37	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03				
17	E	102,39	79,78	18,69	0,00	1,03	0,32	2,58	5,91				
18	E	100,01	30,71	3,79	0,00	64,81	0,04	0,65	7,72				
19	M	4,13	3,72	0,34	0,00	0,01	0,01	0,04	0,32				
20	E	20,70	0,42	0,05	0,00	20,21	0,00	0,02	0,26				
21	E	68,86	1,52	0,47	0,00	66,78	0,01	0,08	1,63				
22	E	16,32	9,71	5,44	0,00	0,35	0,10	0,73	0,92				
23	M	12,32	7,32	4,16	0,00	0,24	0,08	0,53	0,67				
24	E	3,43	2,02	1,14	0,00	0,08	0,02	0,16	0,19				
25	E	4,42	3,85	0,34	0,00	0,00	0,00	0,22	0,47				
26	M	4,34	2,98	1,06	0,00	0,08	0,02	0,21	0,31				
27	E	0,39	0,18	0,12	0,00	0,00	0,00	0,08	0,02				

	Bron ³⁵	Total	Non renewable, fossil	Non-renewable, nuclear	Non-renewable, biomass	Renewable, biomass	Renewable, solar, geother	Renewable, wind, water	ReciPe-score
28	E	10,94	8,52	2,01	0,00	0,12	0,04	0,26	0,75
29	M	2,11	1,47	0,49	0,00	0,06	0,01	0,09	0,14
30	M	23,62	14,23	7,91	0,00	0,36	0,15	0,96	1,47
31	M	3,31	2,12	0,96	0,00	0,08	0,02	0,14	0,20
32	E	2,85	1,80	0,89	0,00	0,03	0,02	0,10	0,67
33	E	6,20	1,01	0,37	0,00	4,73	0,00	0,09	0,18
34	E	37,55	36,89	0,52	0,00	0,02	0,01	0,11	1,91
35	M	21,34	14,55	5,71	0,00	0,27	0,11	0,71	1,26
36	E	3,31	2,12	0,96	0,00	0,08	0,02	0,14	0,20
37	E	17,46	11,27	5,18	0,00	0,26	0,09	0,66	0,98
38	E	22,51	13,09	7,99	0,00	0,33	0,15	0,95	1,20
39	E	20,69	12,09	7,29	0,00	0,31	0,14	0,87	1,06
40	E	22,80	13,26	8,10	0,00	0,34	0,15	0,96	1,19
41	M	79,26	73,31	4,88	0,00	0,35	0,06	0,65	4,60
42	M	76,61	70,64	4,97	0,00	0,33	0,06	0,60	4,36
43	M	62,19	57,37	4,01	0,00	0,26	0,06	0,50	3,39
44	M	85,64	77,11	7,06	0,00	0,45	0,11	0,91	4,86
45	M	66,71	60,60	5,06	0,00	0,31	0,08	0,65	3,64
46	M	19,45	15,33	3,40	0,00	0,20	0,06	0,46	1,32
47	M	17,27	12,10	4,35	0,00	0,21	0,08	0,54	1,07
48	E	49,28	35,16	11,54	0,02	0,82	0,21	1,53	3,54
49	E	40,20	39,09	0,78	0,00	0,21	0,01	0,09	2,08
50	E	33,70	25,96	6,23	0,02	0,52	0,11	0,85	2,70
51	E	22,78	19,00	3,17	0,00	0,16	0,06	0,39	1,35
52	E	219,5	144,55	64,52	0,00	1,98	1,21	7,26	11,50
53	M	0,41	0,37	0,04	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03
54	E	2,38	1,97	0,34	0,00	0,02	0,01	0,04	0,12
55	E	28,08	17,14	9,23	0,00	0,42	0,17	1,11	1,53
56	E	6,96	5,26	1,35	0,00	0,12	0,02	0,21	0,45
57	E	8,78	4,97	3,27	0,00	0,11	0,06	0,37	0,43
58	E	2,12	1,72	0,30	0,00	0,04	0,01	0,05	0,25

³⁵ E= Ecoinvent-database; M = gemodelleerd o.b.v. literatuur/fabrikant informatie

LITERATUURLIJST

Aarne Vesilind, Worrell, 2001

Solid Waste Engineering, 1st ed.
Stamford CT: CL-Engineering; 2001

Agentschap NL, 2011

GER-waarden database (MJA)
Utrecht: Agentschap NL, 2011
Online beschikbaar: <http://www.agentschapnl.nl/content/ger-waarden-database-mja>

Bayer et al., 2005

Peter Bayer, Edda Heuer, Ute Karl en Michael Finkel
Economical and ecological comparison of granular activated carbon (GAC) adsorber refill strategies.
Water Research 39 (2005) 1719–1728.
Elsevier Ltd.: 2005.

Carmeuse, 2011

Factsheet Kalkmelk
Gouda: Carmeuse Nederland
Online beschikbaar: <http://www.carmeuse.nl/files/files/downloads/4.pdf>

Cokeoven Consultants, 2011

Homepage Cokeoven Consultants (P) Ltd. (Anand Agarwalla)
Jharkhanda, (IND): Cokeoven Consultants (P) Ltd, 2011
Online beschikbaar: <http://www.cokeoven.co.in/>

Cristal Global, 2011

Product Data Sheet Iron Chlorosulfate
Online beschikbaar: http://www.cristalarabia.com/ProductDocuments/Co_Products%20FeClSO4%20Thann_7%20Nov%2008.pdf

Dall'Acqua e.a., 1999

Life cycle inventories for the production of detergent ingredients. Nr 244.
Dall'acqua S., Fawer M, Fritschi R, en Allenspach C.
EMPA, St Gallen.

Ecoinvent, 2010

Swiss Centre of Life Cycle Inventories.
Ecoinvent database: versie 2.2
Online beschikbaar: <http://www.ecoinvent.org/>

Eurochlor, 2011

The chlor-alkali Industry in Europe
Webpage: How is chlorine made?
Online beschikbaar: <http://www.eurochlor.org/the-chlorine-universe/the-chlor-alkali-industry-in-europe.aspx>

European IPPC Bureau, 2007

Integrated Pollution Prevention and Control

Reference document on Best Available Techniques for the Manufacture of Large Volume Inorganic Chemicals - Solids and other industry

Online beschikbaar: <http://eippcb.jrc.es/>

Factsheets in Wikipedia, 2011

2-dimethylaminoethanol: <http://nl.wikipedia.org/wiki/2-dimethylaminoethanol>

Aluminium chloride: http://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium_chloride

Aluminiumchlorhydraat: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Aluminiumchlorhydraat>

Aluminium sulfate: http://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium_sulphate

Diammonium phosphate : http://en.wikipedia.org/wiki/Diammonium_phosphate

Dicalciumfosfaat/calciumhydrofosfaat: <http://de.wikipedia.org/wiki/>

Calciumhydrogenphosphat

Magnesium chloride: http://en.wikipedia.org/wiki/Magnesium_chloride

Monocalciumfosfaat: http://en.wikipedia.org/wiki/Monocalcium_phosphate

Sodium aluminate: http://en.wikipedia.org/wiki/Sodium_aluminate

Online beschikbaar: wikipedia.org

Melspring, 2011

Factsheet: Refinal 6 Natriumaluminaat)

Velp: Melspring Wastewater

Online beschikbaar: <http://www.watermelspring.com/rioolwater/?page=Refinal%206&id=145>

Nederlandse Vereniging van Zeepfabrikanten, 2011

Is dit product veilig - polycarboxylaten.

Online beschikbaar: http://www.isditproductveilig.nl/was_en_reinigingsmiddelen/pages/dictionary.php?page_id=11&dictionary_id=61

STOWA, 1995

BKH Adviesbureau

Onderzoek naar de milieubezwaarlijkheid van polyelectrolyten in rwzi's

Utrecht : STOWA, 1995

Sieger et al., 2005

R.B. Sieger, P. Brady, R. Bates

Polymer shortage: real or not?

Online beschikbaar: http://www.chemtrac.com/products/scm/documents/Polymer_Shortage.pdf

Rijkers Procestechnologie B.V., 2011

Factsheet Kalkmelk Installaties

Uden : Rijkers Procestechnologie B.V

Online beschikbaar: http://www.rijkersbv.com/rijkers_nl/toepassingen/kalkmelk.htm

USALCO, 2011

Factsheet: Liquid sodium aluminate (LSA)

Baltimore: USALCO LLC

Online beschikbaar: <http://www.usalco.com/products/liquid-sodium-aluminate>

Alle links zijn het laatst gecheckt in september-november 2011

BIJLAGE A

BEGRIPPENLIJST

Allocatie

Hoe milieueffecten worden toegekend aan verschillende ketenstappen of verschillende coproducten.

Bovenwaarde

De hoeveelheid warmte die vrijkomt bij volledige verbranding van een stof inclusief de warmte die gewonnen wordt als de waterdamp in de rookgassen gecondenseerd wordt. Engels: HHV (Higher Heating Value).

CED

Cumulative Energy Demand, dit is de LCA-benaming voor de impactanalyse methode om de GER-waarde te berekenen. De CED geeft de primaire energie weer, die benodigd is voor een hoeveelheid finaal product. Het gaat om de totale primaire energie die de productie van een stof vergt over de hele voorketen, waarbij alle energiestromen worden geteld, inclusief de chemische energie die is ingesloten in de ruwe materialen (de verbrandingswaarde).

Chemicaliën Bij (drink)waterproductiebedrijven: stoffen die in het productieproces gedoseerd worden en hier een bepaalde chemische functie vervullen, zoals pH-correctie of ontharding van drinkwater. Chemicaliën, zoals natronloog, worden dus ook echt verbruikt. Zie ook: hulpstoffen.

Ecoinvent

Een breed gedragen transparante LCI-database van hoge kwaliteit van meer dan > 4.000 industriële processen in de energie, chemie, transport, bouwmaterialen, wasmiddelen, landbouw, etc. De database vormt een basis voor onderliggende gegevens van veel LCA-studies.

Energieanalyse

Onderzoek naar de hoeveelheid energie die het maken van enig product vereist.

GER-waarde Gross Energy Requirement, de bruto energie-inhoud van een stof, uitgedrukt in primaire energie, volgend uit een energieanalyse. Zie ook CED.

Hulpstof

Bij afvalwaterzuiveringsbedrijven: een toeslagstof die bij het productieproces gebruikt wordt. Het kan om chemische en niet-chemische stoffen gaan en het kan gaan om verbruiksartikelen en stoffen die niet echt verbruikt worden. Bij (drink)water-productiebedrijven: een hulpstof is een stof die in contact komt met water en een bepaalde functie heeft, maar niet verbruikt wordt. Bijvoorbeeld filtermaterialen, zoals zand en actief kool. Zie ook chemicaliën.

LCA

Levenscyclusanalyse, een methode om de milieubelasting te bepalen van een product, aspecten meenemend over de gehele levenscyclus.

LCI

Levenscyclusinventarisatie: de directe milieugegevens van een stof of product. Dit omvat een lange lijst met emissies naar bodem, lucht en water, alsmede gegevens over landgebruik en energieverbruik.

LHV

Lower Heating Value, zie Onderwaarde

Onderwaarde

De hoeveelheid warmte die vrijkomt bij volledige verbranding van een stof, de waterdamp in de rookgassen condenseert niet. Engels: LHV (Lower Heating Value).

Primaire energie

Een energiehoeveelheid uitgedrukt in de vorm zoals wordt aangetroffen in de oorspronkelijk gewonnen energiedrager (bijv. steenkool, olie, aardgas en uranium).

Productiebedrijf

Drinkwaterproductiebedrijf, binnen de drinkwaterproductie wordt ook wel PB (productiebedrijf) gebruikt. Noot: drinkwaterbedrijven kunnen niet alleen drinkwater produceren, maar soms ook industriewater. Binnen de context van deze studie wordt hier geen onderscheid in gemaakt, we hanteren zoveel mogelijk de term waterproductiebedrijf.

ReCiPe

Een wetenschappelijke methode voor milieu-impactanalyse, om de lange lijst aan emissies (LCI) te kunnen duiden. Deze methode is voortgekomen uit een harmonisatie van de CML-methode en de Ecoindicator 99-methode en maakt het zowel mogelijk om verschillende milieueffecten te berekenen, als deze door normalisatiestappen en weging te kunnen herleiden tot een enkele milieu-indicator. Er is een keuze uit normalisatieniveaus en weegmethodes.

RWZI

Rioolwaterzuiveringsinstallatie: installatie voor het zuiveren van gemeentelijk afvalwater. (Hulpstoffen voor industriële afvalwaterzuiveringen zijn niet expliciet onderzocht in deze studie).

Verbrandingswaarde

De warmte die uit een stof gewonnen kan worden door deze volledig te verbranden. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen onderwaarde en bovenwaarde.

BIJLAGE B

TRANSPORT KENTALLEN

Ten behoeve van de berekeningen van het energiegebruik van het transport van de productie-locatie naar het punt van gebruik, worden in deze bijlage aan Ecoinvent ontleende transport kentallen vermeld. De volgende modaliteiten zijn opgenomen:

- vrachtwagen;
- vrachttrein;
- binnenvaartschip ('barge');
- zeegaand schip ('transoceanic').

De functionele eenheid is bij deze processen de ton-kilometer: het vervoeren van een ton materiaal over een kilometer.

Naam Ecoinvent-proces	GER-waarde (MJ/tonkm)	GER, niet-hernieuwbaar (MJ/tonkm)	GER, hernieuwbaar (MJ/tonkm)	ReCiPe-score (dPt/tonkm)
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U	2,26	2,23	0,03	0,16
Transport, freight, rail/RER U	0,75	0,71	0,04	0,04
Transport, barge/RER U	0,66	0,65	0,01	0,05
Transport, transoceanic freight ship/OCE U	0,17	0,17	0,00	0,01

Een rekenvoorbeeld: stel er wordt 100 ton van een product gebruikt waarvan bekend is dat het 1.000 km per spoor en 200 km per vrachtwagen wordt vervoerd bij aflevering. De inschatting van de met het vervoeren gemoeide energie E bedraagt:

$$E = 1000 * 0,75 + 200 * 2,26 = 1,2 \text{ GJ}$$

Omgerekend bedraagt dit energieverbruik 0,012 MJ/kg product.

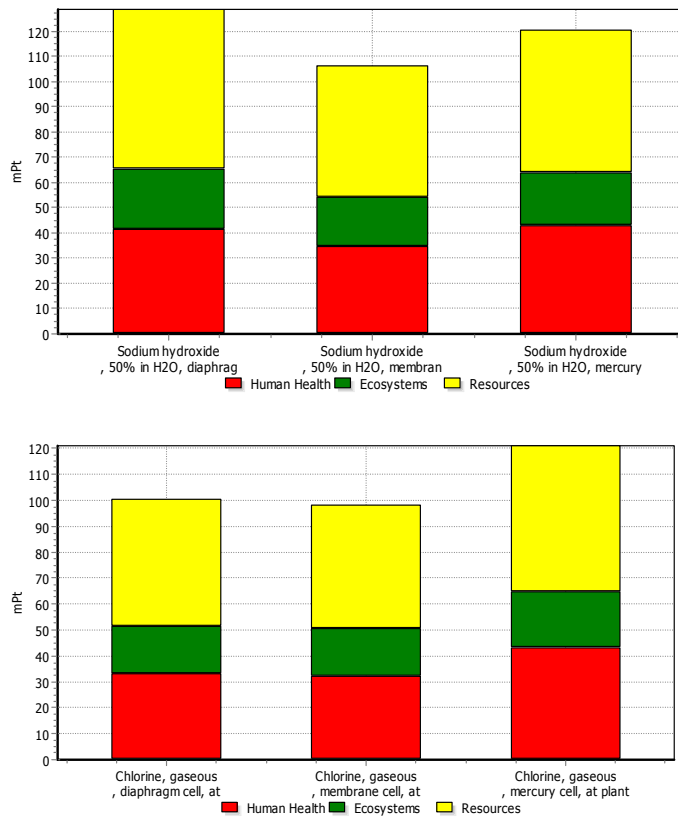
BIJLAGE C

PRODUCTIE NATRONLOOG EN CHLOOR

Chloor en natronloog zijn belangrijke basischemicaliën, ze worden gelijktijdig geproduceerd uit de elektrolyse van een NaCl-zoutoplossing. Een drietal processen zijn hierbij het belangrijkste: het kwikproces, het diafragma proces en het membraanproces. De milieupacten van de productiewijzen verschillen; het membraanproces is het meest milieuvriendelijk, zie Figuur 50.

Voor de natronloog (50% concentraat)-oplossing is het diafragma proces het minst milieuvriendelijk (dit komt door de energie nodig om de NaOH-oplossing in te dampen tot 50% concentratie), bij de productie van chloorgas is het kwikcelproces het minst milieuvriendelijk (in verband met de emissie van kwik, een toxische stof). Het membraanproces is altijd het meest milieuvriendelijk.

FIGUUR 50 VERGELIJKING VAN DE MILIEU-IMPACT VAN DE PRODUCTIE VAN NATRONLOOG (LINKERFIGUUR) EN CHLOORGAS (RECHTERFIGUUR) BIJ VERSCHILLENDE CHLOOR/ALKALI PROCESSEN (RECIPE-SCORE; ECOINVENT V.2.2)



Ecoinvent hanteert voor deze processen een productiemix op basis van de Europese chloorproductie. In de huidige versie van Ecoinvent gaat het om een mix van 55% kwikcelproces, 23% diafragmaacelproces en 22% membraanproces, op basis van statistieken voor Europa in 2003.

De Europese chloorindustrie is echter in beweging. Sinds een aantal jaren wordt het kwikcelproces geleidelijk uitgefaseerd, dit zal doorgaan tot 2020. In Nederland heeft AkzoNobel het kwikproces bijvoorbeeld in 2006 uitgefaseerd. Solvay Chemicals heeft nog één fabriek waar het kwikproces wordt gehanteerd. Deze fabriek wordt binnenkort eveneens uitgefaseerd. Statistieken van de Europese chloorproductie zijn nu (in 2009): 34% kwikcel, 14% diafragmaacel en 52% membraanceel³⁶.

De waarden van de Ecoinvent-productiemix vallen hierdoor hoger uit dan wanneer de meer recente percentages opgenomen zouden zijn. Het verschil in de GER-waarde en de ReCiPe-score bedraagt ongeveer 4%. Dit is dus een duidelijke verbetering van de milieuvriendelijkheid van de chloorproductie.

Echter binnen de context van deze studie is ervoor gekozen om de Ecoinvent-processen niet aan te passen; dit is te complex omdat de productiemix in teveel andere processen gebruikt wordt, en het verschil is niet groot genoeg gezien andere onzekerheden.

36 <http://www.eurochlor.org/makingchlorine>.