

CE

**Oplossingen voor
milieu, economie
en technologie**

Oude Delft 180

2611 HH Delft

tel: 015 2 150 150

fax: 015 2 150 151

e-mail: ce@ce.nl

website: www.ce.nl

Besloten Vennootschap

KvK 27251086

Milieuevaluatie van inzet alternatieve (bio-)brand- stoffen in de Gelderland 13 energiecentrale

Rapport

Delft, augustus 2005

Opgesteld door: J.T.W. (Jan) Vroonhof
H.J. (Harry) Croezen
G.C. (Geert) Bergsma



Colofon

Bibliotheekgegevens rapport:

H.J. (Harry) Croezen, J.T.W. (Jan) Vroonhof, G.C. (Geert) Bergsma
Milieuevaluatie van inzet alternatieve (bio-)brandstoffen in de Gelderland 13
energiecentrale
Delft, CE, 2005

Brandstoffen / Energievoorziening / Duurzame energie / Plantaardige producten /
Milieu / Effecten / Analyse / Meetmethode

Publicatienummer: 05.6079.23

Opdrachtgever: Electrabel Nederland N.V.
Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Jan Vroonhof.

© copyright, CE, Delft

CE

Oplossingen voor milieu, economie en technologie

CE is een onafhankelijk onderzoeks- en adviesbureau, gespecialiseerd in het ontwikkelen van structurele en innovatieve oplossingen van milieuvraagstukken. Kenmerken van CE-oplossingen zijn: beleidsmatig haalbaar, technisch onderbouwd, economisch verstandig maar ook maatschappelijk rechtvaardig.

CE-Transform

Visies voor duurzame verandering

CE-Transform, een business unit van CE, adviseert en begeleidt bedrijven en overheden bij veranderingen gericht op duurzame ontwikkeling.

De meest actuele informatie van CE is te vinden op de website: www.ce.nl

Dit rapport is gedrukt op 100% kringlooppapier.

Inhoud

Samenvatting	1
1 Inleiding	5
1.1 Aanleiding tot deze studie	5
1.2 Doelstelling studie	5
1.3 Opzet rapportage	6
2 Uitgangspunten methodiek milieuanalyse	7
2.1 Hoofdpijnen	7
2.2 Beschouwde milieuthema's	8
2.2.1 Selectie van de thema's	8
2.2.2 Broeikasgassen	8
2.2.3 Verzurende en vermestende stoffen	8
2.2.4 Humane en eco-toxiciteit	9
2.2.5 Reststoffen	9
2.3 Methodiek analyse emissies Gelderland 13 centrale Electrabel	9
2.4 Methodiek analyse alternatieve toepassing brandstoffen	10
2.4.1 Algemeen	10
2.4.2 Alternatieve routes	11
2.4.3 Wijze van bepaling milieubelasting alternatieve toepassing	11
2.5 Weegmethoden	12
2.5.1 Inleiding	12
2.5.2 Mogelijke weegmethoden	13
2.5.3 Panelmethode	13
2.5.4 Normalisatie	13
2.5.5 Distance-to-target	14
2.5.6 Preventiekosten methodiek	14
2.5.7 Schadekosten methodieken, ExternE en anderen	15
2.5.8 Keuze van de weegmethode	16
3 Resthout	17
3.1 Inleiding	17
3.2 Inzet in de Gelderland 13	17
3.3 Alternatieve toepassing	19
3.4 Vergelijking	20
4 Frituurvet	23
4.1 Inleiding	23
4.2 Inzet in de Gelderland 13	23
4.3 Alternatieve toepassing	24
4.4 Vergelijking	26
5 Palmolie vetzuren	29
5.1 Inleiding	29
5.2 Inzet in de Gelderland 13	29
5.3 Alternatieve toepassing	30

5.4	Vergelijking	33
6	Tall oil pitch	37
6.1	Inleiding	37
6.2	Inzet in de Gelderland 13	37
6.3	Alternatieve toepassing	38
6.4	Vergelijking	39
7	Conclusies	43
7.1	Conclusies milieuanalysemethodiek	43
7.2	Conclusie dominante milieuthema's	43
7.3	Conclusies voor de beschouwde vier alternatieve brandstoffen	43
7.4	Algemene conclusies	44
7.5	Aanbevelingen	47
	Literatuurlijst	49
A	Gebruikte karakterisatiefactoren, schaduw prijzen en schadekosten	55
B	Alternatieve route resthout	57
C	Alternatieve routes frituurvet	65
D	Alternatieve route verzuren palmolie	75
E	Alternatieve routes tall oil pitch	89

Samenvatting

Electrabel heeft, net als andere Nederlandse elektriciteitsproducenten, in het kolenconvenant met de Nederlandse overheid afgesproken een deel van de kolen die zij gebruikt voor elektriciteitsproductie te vervangen door biomassa. Belangrijkste argument voor deze afspraak is een verlaging van het broeikas-effect.

Op de internationale biomassamarkt zijn diverse grondstoffen verkrijgbaar die als biobrandstof in een kolengestookte of gasgestookte energiecentrale kunnen worden ingezet. In deze studie, in opdracht van Electrabel, zijn vier alternatieve brandstoffen onderzocht op hun milieu voor en nadelen, te weten: resthout, frituurvet, palmolie vetzuren en tall oil pitch. Bij deze materialen speelt de vraag of inzet elders in de economie milieukundig niet beter is.

Deze vier brandstoffen zijn gebruikt om een methodiek te ontwikkelen waarmee de milieueffecten van het meestoken van die brandstoffen kunnen worden vergeleken met de milieueffecten van alternatieve toepassingen van die brandstoffen. Deze analyse van milieueffecten is een van de criteria op basis waarvan Electrabel wil besluiten of de alternatieve brandstof zal worden ingezet.

De ontwikkelde milieuanalysemethodiek is gebaseerd op de LCA-methodiek conform ISO 14040. Daarnaast wordt aangesloten bij de afspraken gemaakt in de werkgroep duurzaamheid van de Transitie Biomassa dat weer een onderdeel was van de Energietransitie van het Ministerie van Economische Zaken. Conform deze methodiek is voor biomassa voor energie gekeken naar de milieuthema's broeikas-effect, verzuring, vermesting, humane toxiciteit en ecotoxiciteit. Daarvan blijkt het broeikas-effect het meest belangrijk en als tweede verzuring voor de beschouwde vier biomassastromen. Bij andere biomassastromen met meer zware metalen is veelal toxiciteit belangrijk maar bij de hier beschouwde relatief schone stromen treedt er een verlaging van de toxische emissie op. Bij alternatieve brandstoffen uit ontwikkelingslanden en is het ook gewenst aandacht te besteden aan aantasting biodiversiteit. Dit is wanneer natuurgebieden worden omgevormd tot productielocaties voor biomassa. In deze studie is dit niet uitgediept, maar daar waar dit relevant is, is dit genoemd als verder te onderzoeken issue.

Verzamelen van gegevens blijkt een probleem wanneer relatief onbekende producten als tall oil pitch, worden beschouwd. Het blijkt mogelijk om in hoofdlijnen een voldoende betrouwbaar beeld te geven van de milieueffecten van het meestoken en alternatieve toepassingen. De conclusies per biomassastroom en in het algemeen luiden als volgt:

Resthout

Het meestoken van resthout in de Gelderland 13 is milieukundig gunstiger dan het gebruik van resthout voor de productie van spaanplaat. Dit is toe te schrijven aan:

- 1 De productie van de lijm die voor de productie van spaanplaat wordt gebruikt, geeft relatief veel emissies.
- 2 Gipsplaat, dat met spaanplaat concurreert, wordt op dit moment met aanmerkelijk minder emissies geproduceerd dan spaanplaat.
- 3 Deze conclusie is anders dan die in eerdere studies van CE in 1997¹ en 1999². Toen was de conclusie dat het maken van spaanplaat milieukundig gelijk of beter scoorde dan energieproductie uit afval hout. Deze verandering van de conclusie komt doordat de productie van gipsplaat veel energiezuiniger is geworden de afgelopen 10 jaar. Het vervangen van gipsplaat door spaanplaat was eerder gunstig voor het milieu en nu niet meer.

Frituurvet

Het meestoken van frituurvet in de Gelderland 13 is milieukundig de meest gunstige optie: Via deze route wordt steenkool vervangen en dat levert meer milieuwinst is op dan het vervangen van olie via andere opties.

Palmolie vetzuren

Bij de analyse van het milieueffect van de inzet van palmolievetzuren als alternatieve brandstof is de vraag essentieel of deze inzet leidt tot de aanleg van nieuwe productieplantages ten koste van oerwoud in de productielanden Indonesië en Maleisië. Indien dit het geval is, zijn er verschillende effecten waarmee rekening moet worden gehouden, zoals: biodiversiteit, broeikas effect door de kap van oerwoud (verandering CO₂-opslag, methaanemissies door rot van wortels) en sociale aspecten. Of daadwerkelijk nieuwe plantages worden aangelegd is op voorhand niet met zekerheid te voorspellen. Immers palmolie concurreert met andere producten en er is een kans dat de concurrerende toepassing veevoer overstapt op een andere grondstof, waarbij weer andere effecten een rol kunnen spelen. Ook is het wellicht mogelijk bij een stringent ontmoedigingsbeleid voor de aanleg van nieuwe plantages in Indonesië en Maleisië er efficiënter gaat worden geproduceerd op de bestaande plantages. In de voorliggende studie is het gezien de tijd niet mogelijk gebleken om deze causaliteit te onderzoeken. Daarom is er sprake van een dubbele conclusie voor palmolie.

Indien gewaarborgd wordt dat het gebruik van palmolie niet leidt tot de aanleg van nieuwe plantages dan kan de inzet palmolie vetzuren als alternatieve brandstof vergeleken te worden met de inzet ervan in de veevoederindustrie. Onder deze aanname geeft het meestoken van Palmolie vetzuren in de Gelderland 13 een lagere netto milieubelasting op alle beschouwde thema's dan inzet ervan in veevoeder.

Indien er wel kans is op een uitbreiding van het areaal aan plantages voor palmolie door toepassing van palmolie voor energie dan is afhankelijk van de precieze manier van teelt, de samenstelling van het eerdere bos etc, het effect op broei-

¹ Een afweging van energetische benutting versus materiaalhergebruik van afvalhout CE, Delft 1997

² Spaanplaatproductie in Italië uit Nederlands afvalhout milieukundig beoordeeld CE, Delft 1999

kaseffect mogelijk negatief en biodiversiteit waarschijnlijk negatief. De precieze effecten onder deze aanname zijn niet onderzocht in deze studie.

Wij bevelen aan op dit punt in gesprek te gaan met NGO's en verder onderzoek te verrichten.

Tall oil pitch

Tall oil is het residu van de tall oil destillatie. Tall oil is een bijproduct van het sulfaat pulp proces voor de productie van papier/karton. Ook het toepassen van tall oil pitch voor energie is milieukundig positief. Wel is het maatschappelijk aanbevelenswaardig om de 8% sterolen in deze grondstof af te scheiden en elders in te zetten voor voedsel met gezondheidsvoordelen. De resultaten voor directe verbranding in de Gelderland 13 en die van verbranding in de Gelderland 13 na het onttrekken van sterolen (gebruikt voor de productie van cholesterol verlagende vetzuren) zijn vrijwel gelijk.

Algemene conclusies

Op basis van de vier beschouwde alternatieve brandstoffen zijn de volgende algemene indicatieve conclusies geformuleerd. Het betreft indicatieve conclusies omdat het aantal beschouwde alternatieve brandstoffen beperkt is tot vier.

- meestoken in de Gelderland 13 is steeds milieukundig het gunstigst behalve indien palmoliegebruik leidt tot extra plantages en aantasting van tropisch bos. Een toepassing in de landbouw of veeteelt ligt qua milieueffect in dezelfde orde van grootte als de Gelderland 13;
- meestoken van de beschouwde alternatieve brandstoffen in de Gelderland 13 resulteert steeds in een verbetering van de lokale luchtkwaliteit rond de centrale;
- brandstoffen die een alternatieve toepassing hebben in energieopwekking (zoals biodiesel), kunnen beter in de Gelderland 13 worden meegestookt. Dit omdat de milieueffecten van het meestoken in de Gelderland 13 lager zijn. Dit komt doordat in de Gelderland 13 er kolen uitgespaard worden en bij andere routes olie;
- effecten van het onttrekken van alternatieve brandstoffen aan de markt op de alternatieve toepassing van die brandstoffen zijn niet geheel te voorspellen. Dit betekent dat men voorzichtig moet zijn in het trekken van conclusies en dan met name wanneer het gaat om alternatieve brandstoffen waarvan de onttrekking aan de markt leidt of kan leiden tot de aanleg van nieuwe productielocaties ten koste van natuurterreinen.

In de uiteindelijke afweging door Electrabel om een alternatieve brandstof in een centrale te gaan inzetten spelen naast de milieueffecten natuurlijk ook economische en sociale afwegingen een rol.

Het verdient het aanbeveling om over palmolie voor energie in dialoog te treden met NGO's in Nederland en in de landen van toelevering. Daarnaast is het aan te bevelen voor biomassa stromen uit ontwikkelingslanden met risico op ontbossingseffecten een duurzaamheidscertificeringssysteem op te zetten zoals bijvoorbeeld het FSC systeem voor hout.



1 Inleiding

1.1 Aanleiding tot deze studie

Electrabel Nederland N.V. wil haar plannen op het gebied van energieproductie uit biomassa en andere alternatieve brandstoffen aan een duurzaamheidstoets onderwerpen. Een duurzaamheidstoets omvat een conform de daarvoor geldende normen uitgevoerde LCA, waarin de netto milieubelasting wordt bepaald van een in te zetten brandstof. Dit wordt gedaan voor de inzet ervan in een energiecentrale van Electrabel (de Gelderland 13). Tevens wordt nagegaan wat het milieueffect is van het gebruik van de betreffende brandstof voor alternatieve toepassingen. Door de verschillende toepassingsmogelijkheden milieukundig met elkaar te vergelijken, wordt nagegaan of inzet van de brandstof in een energiecentrale voordelen oplevert qua milieubelasting. Milieubelasting is echter niet het enige criterium waarop het besluit tot daadwerkelijk inzet wordt genomen. Economische en sociale aspecten zijn vanzelfsprekend ook van belang.

In deze studie is niet gekeken naar de economische aspecten voor Electrabel en ook niet naar de economische aspecten voor de Nederlandse overheid. Zij draagt via subsidies op elektriciteit uit biomassa bij aan het bijstoken van biomassa in energiecentrales.

Plannen van Electrabel betreffen met name de inzet van resthout, vetzuren van de palmolie-industrie, frituurvet en tall oil pitch. Op verzoek van Electrabel heeft CE de milieuanalysemethodiek ontwikkeld voor de verwerking van voor Electrabel interessante alternatieve brandstoffen en deze methodiek toegepast voor de verwerking van de genoemde producten. Het ligt in de bedoeling om deze milieuanalysemethodiek in de komende tijd te gebruiken voor de analyse van meerdere alternatieve brandstoffen.

1.2 Doelstelling studie

Het ontwikkelen van de milieuanalysemethodiek voor de inzet van alternatieve brandstoffen in een centrale van Electrabel ten opzichte van de gangbare brandstof in de centrale en daar waar relevant ten opzichte van alternatieve toepassingen van die brandstof.

De methodiek wordt ontwikkeld op basis van de milieuanalyse van de volgende alternatieve brandstoffen:

- resthout. Hier wordt onder resthout A-hout plus B-hout verstaan. A-hout is schoon en onbehandeld resthout, B-hout is geleverd, gelakt of verlijmd resthout. In praktijk is de grens tussen beide soorten resthout niet scherp;
- frituurvet. Is plantaardig en dierlijk vet dat afkomstig is uit de horeca en bedrijfskeukens en gebruikt is voor het frituren van voedselproducten;

- vetzuren van de palmolie-industrie. Dit is een mengsel van verschillende vetzuren (zoals: laurine-, myristine- en palmitinezuur) afkomstig van de palmolie-industrie;
- tall oil pitch. Dit is het niet-vluchtige deel van de herdistillatie van tall oil. Tall oil is een bijproduct van het sulfaat pulp proces voor de productie van papier/karton.

1.3 Opzet rapportage

De milieuanalysemethodiek is ontwikkeld op basis van de analyse van de vier genoemde alternatieve brandstoffen. De ontwikkeling is een iteratief proces: uitgaande van een globale opzet van de methodiek wordt de analyse voor de alternatieve brandstoffen uitgevoerd, waarmee dan weer de methodiek nader wordt ingevuld. Dit rapport geeft geen beschrijving van dit iteratieve proces. De via de iteratieve stappen ontwikkelde methodiek wordt in hoofdstuk 2 beschreven.

In de daarop volgende vier hoofdstukken worden de milieuanalyses van de vier beschouwde alternatieve brandstoffen gegeven. Daarbij is de uitgebreide analyse en verantwoording ervan per alternatieve brandstof in een bijlage opgenomen. De resultaten van de analyses zijn in de betreffende hoofdstukken van dit hoofdrapport opgenomen.

In hoofdstuk 7 zijn de conclusies opgenomen ten aanzien van de analyse methodiek. Eveneens worden enkele algemene conclusies gegeven over de milieueffecten van de vier beschouwde alternatieve brandstoffen.

De in de milieuanalyse gebruikte karakterisatiefactoren, schaduw prijzen en schadekosten zijn in bijlage A opgenomen.

2 Uitgangspunten methodiek milieuanalyse

2.1 Hoofdlijnen

LCA-methodiek

De te ontwikkelen methodiek voor de milieuanalyses voldoet aan de ISO 14040 normen³ welke gelden als standaard voor LCA-studies. De LCA-methodiek behelst het inventariseren en het binnen thema's sommeren van milieueffecten. Het startpunt voor de inventarisatie is de beschikbaarheid op de markt van de in te zetten alternatieve brandstof. Het eindpunt is de uiteindelijke inzet ervan in de energiecentrale of de alternatieve toepassing. Bij alternatieve toepassing wordt in de analyse meegenomen wat de vermeden milieubelasting is van productie van een vergelijkbaar eindproduct. Bij het eindproduct elektriciteit wordt door inzet van een alternatieve brandstof de elektriciteitsproductie vanuit fossiele bronnen uitgespaard en bij het product warmte zijn dit bestaande wijzen van warmteproductie. Wat wordt uitgespaard, wordt in mindering gebracht op de milieueffecten van de inzetroute van de beschouwde alternatieve brandstof.

Deze methodiek sluit aan op de aanbevelingen van de werkgroep duurzaamheid (met daarin overheid, bedrijven en NGO's) van de Transitie Biomassa dat weer een onderdeel is van de Energietransitie van het Ministerie van Economische Zaken.

Functionele eenheid

Als functionele eenheid voor de analyses wordt steeds uitgegaan van de verwerking van 1 ton van de alternatieve brandstof.

Elektriciteit

Voor de gebruikte elektriciteit in de alternatieve routes en de achterliggende processen wordt de Europese elektriciteitsmix gebruikt. Dit omdat deze processen veelal buiten Nederland plaatsvinden.

Transporten

Intermediaire transporten en bewerkingsprocessen zijn onderdeel van de analyse.

³ De ISO 14040 normen bestaan uit het framework (14040) en daarbinnen vallen ISO 14041 'Goal en scope definition en inventory analysis', ISO 14042 'Impact Assessment' en ISO 14043 'Interpretation'. ISO is de International Organization for Standardization.

2.2 Beschouwde milieuthema's

2.2.1 Selectie van de thema's

De keuze van de te beschouwen thema's is afgestemd op de behoefte van Electabel aan een werkbaar, makkelijk hanteerbaar en niet al te gedetailleerd soort 'early warning' systeem waarmee de milieueffecten gerelateerd aan de inzet van een alternatieve brandstof eenvoudig kunnen worden ingeschat. Daarbij zijn dan de thema's van belang die in de discussies over de inzet van een dergelijke brandstof een belangrijke rol spelen. Deze thema's zijn: broeikaseffect, verzuring, vermesting, humane en ecotoxiciteit en reststoffen. Emissies als fotochemische oxidantvorming, aantasting van de ozonlaag en uitputting van voorraden worden derhalve niet beschouwd. Dit sluit aan bij het beleid van de Nederlandse overheid in deze. In deze studie is aantasting biodiversiteit ook niet geanalyseerd. Dit is een thema dat moeilijk te kwantificeren is, maar daar waar het relevant is, is dit genoemd als belangrijk aspect.

2.2.2 Broeikasgassen

In het kader van de UKR⁴ en de Biomassa Transitie is een methodiek ontwikkeld voor het opzetten van CO₂-balansen voor allerlei op biomassa gebaseerde initiatieven voor de productie van elektriciteit, grondstoffen en transport brandstoffen. Deze methodiek is toegepast. De voornaamste redenen daarvoor zijn:

- de methodiek is opgesteld in overleg met alle relevante actoren op het gebied van biomassa als grondstof of als energiedrager;
- de methodiek is gebaseerd op de LCA-methodiek en neemt alle mogelijke effecten mee, zoals:
 - a Emissies door inzet van fossiele energiedragers.
 - b Emissies door broeikasgassen in de landbouw (indien teelt relevant is).
 - c Emissies door verandering van landgebruik en daaraan gerelateerde verandering van bodemstructuren.

2.2.3 Verzurende en vermestende stoffen

Emissies van verzurende stoffen en vermestende stoffen zijn onzeker en vaak installatiespecifiek. Emissies van NO_x voor aardgas gestookte ketels bijvoorbeeld kunnen per installatie verschillen, afhankelijk van aspecten als instelling van de brander, onderhoud, brandertype, etc. Het is daarom niet realistisch om te proberen dergelijke emissies zo nauwkeurig mogelijk in te schatten. Derhalve worden deze emissies aangegeven met een onzekerheidsinterval. Verzurende stoffen geven tevens ook een belangrijke bijdrage aan humane en ecologische toxiciteit.

⁴ UKR is de Unieke Kansen Regeling. Dit is de subsidieregeling van SenterNovem voor het stimuleren van samenwerkingsprojecten voor experimenten die een bijdrage leveren aan de verduurzaming van de energiehuishouding. De duurzaamheidsrandvoorwaarden voor deze regeling zijn gemaakt door Stichting Natuur en Milieu, CE in samenwerking met stakeholders.

2.2.4 Humane en eco-toxiciteit

Humane en eco-toxiciteit zijn belangrijke thema's voor de lokale luchtkwaliteit. Voor toxische stoffen wordt onderscheid gemaakt tussen:

- emissies op de meestook locatie;
- emissies elders.

Voor de Gelderland 13 is een model opgesteld waarmee aan de hand van de samenstelling van de brandstof de emissies van toxische stoffen zijn geraamd. De omvang daarvan is vergeleken met de emissies van toxische stoffen gerelateerd aan kolenstook of aardgas inzet. De emissies van toxische stoffen op andere locaties zijn kwalitatief beschouwd.

Emissies van toxische stoffen voor andere processen dan meestoken zijn vaak moeilijk en met grote onzekerheden te bepalen. In het geval van de inzet van tot biodiesel verwerkt frituurvet bijvoorbeeld is erg lastig aan te geven wat precies de emissies zullen zijn. Dat hangt af van het soort auto, het rijgedrag van de chauffeur, aanwezige emissiereducerende maatregelen als 3-wegkatalysator, motorafstellingen, etc. Derhalve zijn de aangegeven emissies van toxische stoffen indicatief. Steeds wordt vermeld hoe de emissies zijn bepaald en hoe deze moeten worden geïnterpreteerd.

2.2.5 Reststoffen

Reststoffen, ofwel finaal te storten afval, is geen LCA-thema maar wel een belangrijk beleidsthema. Derhalve was het de opzet om ook dit thema mee te nemen. Uit de analyses is echter gebleken dat bij de vier beschouwde alternatieve brandstoffen de vrijkomende hoeveelheid reststoffen die als finaal afval gestort worden, verwaarloosbaar is. Derhalve is dit thema geschrapt van de lijst van de te beschouwen milieuthema's.

2.3 Methodiek analyse emissies Gelderland 13 centrale Electrabel

Voor de bepaling van de milieubelasting door meestoken in de Gelderland 13 centrale zijn voor de verschillende emissies de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- verdeling van as over bodemas, vliegashoudstof, slib en vliegashoudstof is gebaseerd op de verdeling in het milieujaarverslag van 2003. Aangenomen is dat ABI-slib voor een groot deel bestaat uit door de ROI afgevangen vliegashoudstof;
- emissies naar water:
 - a Concentraties van metalen in de spui van de ABI zijn overgenomen uit het milieujaarverslag voor 2003. Aangenomen is dat het evenwichtsconcentraties betreft, bepaald door de pH (= 9,4) die wordt aangehouden in de ABI.
 - b De emissies naar water zijn vervolgens bepaald door de benodigde spui met de evenwichtsconcentraties in de spui te vermenigvuldigen.
- emissie van SO₂, HCl, HF en NO_x:
 - a De balans voor zwavel is rechtstreeks overgenomen uit het milieujaarverslag voor 2003.

- b Voor stikstof is uitgegaan van de volgende aannamen. Volgens de emissiegegevens voor 2002 en 2003 is de specifieke emissie voor NO_x-emissie van de Gelderland gemiddeld 48 g/GJ. Het rendement van de SCR is bij benadering 80%. De ongezuiverde emissie zou $48/20\% = 240$ g/GJ bedragen. Op basis van gegevens van het AOO (MERLAP) is afgeleid dat thermische NO_x bij kolencentrales circa 35 g/GJ bedraagt. De overige NO_x moet zijn gevormd op basis van brandstof NO_x. Dit betekent dat 10% van de stikstof in de kolen wordt omgezet in NO_x.
- rendementen van verwijdering van chloor en fluor zijn overgenomen uit het MER voor meestoken en bijstoken;
 - emissies van micro-elementen naar lucht:
De verwijderingrendementen voor de zware metalen zijn vastgesteld op basis van berekeningsresultaten van het KEMA model 'TRACE';
 - procesgerelateerde emissies zijn gebaseerd op het milieujaarverslag voor 2003;
 - voor kwik is - anders dan in de ter beschikking gestelde bronnen - uitgegaan van een emissie van 10%. Uit metingen van de KEMA blijkt dat een high dust SCR kwik oxideert, waardoor een groot deel van de kwik in de ROI wordt afgevangen.

Op basis van deze uitgangspunten is het emissieprofiel van de inzet van steenkool in de Gelderland 13 bepaald, zie Tabel 1. De stookwaarde van steenkool is 25,2 GJ/ton.

Tabel 1 Emissies van de inzet van steenkool in de Gelderland 13

Milieuthema	Klimaat-verandering GWP100	Verzuring	Vermesting	Humane toxiciteit	Ecotoxiciteit
Eenheid	Kg CO ₂ -eq.	Kg SO ₂ -eq.	Kg PO ₄ -eq.	Kg 1,4 dichloor-benzeen-eq.	Kg 1,4 dichloor-benzeen-eq.
Emissie per ton steenkool					
- Verstoken	2.376	2,1	0,2	89,1	0,8
- Precombustion	249	3,4	0,4	3,6	0,2
Totaal	2.625	5,5	0,6	92,7	1,0
Emissie per GJ steenkool	104	0,2	0,0	3,7	0,0

2.4 Methodiek analyse alternatieve toepassing brandstoffen

2.4.1 Algemeen

De analyses van de alternatieve verwerkingsroutes zijn steeds uitgevoerd conform het gangbare stramien voor LCA's:

- bepalen van het te beschouwen systeem, bepalen welke processen daarin plaatsvinden;
- opstellen van massabalans over het systeem en bepalen van het gebruik aan chemicaliën en energie in de verschillende processtappen in het systeem;

- bepalen van de emissies per proces en per eenheid chemicaliën of energiedrager;
- aggregatie van de directe emissies en de indirecte emissies per proces tot de bijdragen per milieuthema.

2.4.2 Alternatieve routes

Op basis van een globale marktanalyse wordt bepaald welke alternatieve verwerkingsroutes het meest waarschijnlijk zijn.

Alternatieve toepassingen kunnen bijvoorbeeld zijn:

- toepassing als energiedrager in een andere conversietechniek: wervelbedoven, stationaire motor, cementoven, etc.;
- toepassing in veevoederindustrie als eiwitbron, ruw voer of als vetrijke of koolhydraatrijke energiebron;
- toepassing als grondstof in bouwmaterialen industrie, bijvoorbeeld spaanplaat, cementproductie, pozzolaan productie (zie CDEM Duiven).

Criteria voor de bepaling van de meest waarschijnlijke routes zijn:

- de route is een bestaande toepassing voor de alternatieve brandstof in Nederland; of
- de route is een toepassing die in de omliggende landen veel opgang heeft en daardoor op termijn ook voor de inzet van de alternatieve brandstof in Nederland een reëel afzetkanaal zou kunnen zijn.

Vervolgens wordt per alternatieve verwerkingsroute bepaald waarmee de beschouwde alternatieve brandstof of het daaruit geproduceerde product concurreert. Dit is nodig om te kunnen bepalen wat de netto milieubelasting is voor verwerking van de alternatieve brandstof via deze route. In de keuze van de met het in te zetten alternatieve brandstof concurrerende product zit altijd een onzeker element omdat op voorhand niet met zekerheid te voorspellen is hoe de markt zich zal aanpassen.

2.4.3 Wijze van bepaling milieubelasting alternatieve toepassing

Op basis van de verkregen en verzamelde gegevens voor de inzet van de biomassa-/reststroom wordt de milieubelasting van de alternatieve routes als volgt bepaald.

- de CO₂-balans wordt bepaald door de verandering in totale CO₂-emissie (kort- + langcyclisch) als gevolg van de inzet van de biomassastroom en de vaststelling van de hoeveelheid CO₂-emissie die toe te schrijven is aan biomassa (kortcyclisch) en niet-biomassa (langcyclisch). CO₂-emissiegevolgen van het niet meer kunnen gebruiken van de biomassa stroom voor een eerdere toepassing (zoals spaanplaat voor resthout en veevoer) worden ook beschouwd. Er wordt vanuit gegaan dat de stromen niet leiden tot een andere manier van grondgebruik (bij bijvoorbeeld biomassateelt) tenzij dit expliciet geregeld wordt door de aanleverende partij en dat de CO₂-effecten die hier mee samenhangen geen rol spelen. Bij vetzuren van palmolie zal hierop nog

worden ingegaan omdat het daarbij een rol speelt in de uitkost van de analyse. Eventuele emissie van andere broeikasgassen (CH₄, N₂O, waterstof-fluoriden) worden ook in rekening gebracht en met behulp van karakterisatiefactoren omgerekend naar CO₂-equivalenten. Emissies van NO_x en N₂O en CH₄ zullen worden bepaald aan de hand van processpecificaties en procesregeling;

- emissies naar lucht en water van zware metalen, halogenen en zwavelverbindingen en de productie van reststoffen zijn bepaald op basis van bekende verdelingen van elementen over rookgassen en (indien relevant) assen. Consumptie van additieven voor de rookgasreiniging zijn aan deze verdeling gekoppeld;
- emissies van NO_x worden evenals die van N₂O en CH₄ bepaald aan de hand van processpecificaties en procesregeling;
- productie warmte, elektriciteit en brandstoffen bij de verwerking van biomassa-/reststromen, wordt vastgesteld aan de hand van een thermodynamische balans over de beschouwde verwerkingsprocessen;
- vloeibare brandstoffen zullen voorafgaand aan verstoken opgewarmd worden met aftapstoom om een laagviscieuze vloeistof te verkrijgen, die gemakkelijker verpompbaar en vernevelbaar is. Het daaraan gerelateerde eigen verbruik is vrijwel verwaarloosbaar en wordt daarom verder buiten beschouwing gelaten.

2.5 Weegmethoden

2.5.1 Inleiding

Milieuscan's en LCA's geven over het algemeen geen eenduidig beeld van de wenselijkheid vanuit milieuoogpunt van een initiatief als meestoken van biomassa. Vaak is er geen sprake van een eenduidig betere score op alle beschouwde milieuthema's.

Om toch een eenduidig beeld te verkrijgen zullen de milieuthema's onderling moeten worden gewogen. Het resultaat is één eenduidig getal per initiatief, dat - afgezet tegen een referentie - duidelijk maakt of een initiatief maatschappelijk gezien en qua milieu-impact wenselijk is of niet.

Deze paragraaf gaat kort in op:

- welke methoden in principe beschikbaar en toepasbaar zijn;
- welke methode de voorkeur verdient, geredeneerd vanuit het doel van de studie en de positie van Electrabel als initiatiefnemer.

2.5.2 Mogelijke weegmethoden

Voor het onderling wegen van de in deze studie beschouwde aspecten (CO₂-balans, verzurende en toxische emissies, afval) zijn in principe de volgende methoden beschikbaar (CML, 2001):

- panelmethodieken, zoals bijvoorbeeld:
 - de door CML voor NOGEPA ontwikkelde REIM methodiek;
 - de Eco-indicator methodiek;
- normalisatie;
- op politieke doelen gebaseerde afwegingsmethodieken, zoals distance-to-target;
- preventiekosten methodieken:
 - milieukostenmethodiek, zoals toegepast in NeR;
 - schaduwprizen methodiek CE;
- monetarisering van milieubelasting en resulterende schade, zoals de ExterneE methodiek.

De voors en tegens van deze methoden worden hierna kort aangegeven.

2.5.3 Panelmethode

Bij de panelmethode wordt aan een groep van experts de vraag voorgelegd hoe milieuthema's onderling vergeleken moeten worden. Op basis van de inschatting van het belang van de verschillende thema's worden dan weegfactoren vastgesteld. Deze methode wordt gebruikt in de Eco-Indicator van Pré, waarin weegfactoren worden gebruikt voor 'gezondheid, kwaliteit van ecosystemen en natuurlijke bronnen'. De weegfactoren zijn door een panel bepaald aan de hand van de mening van de panel over de relatieve belang van de drie categorieën. Een ander voorbeeld is de door CML voor NOGEPA ontwikkelde REIM methodiek.

Voordeel van de panel methodiek is dat er gesproken kan worden van consensus. Het is echter wel de vraag of die consensus beperkt is tot het groepje deskundigen of maatschappelijk gezien breed gedragen wordt. Er is vooraf niet duidelijk hoe breed de consensus voor de methodiek is. Er is daardoor altijd kans dat een vanuit milieuoogpunt naar voren geschoven initiatief - waarvan middels de panelmethode de meerwaarde is vastgesteld - alsnog te maken krijgt met forse tegenstand.

2.5.4 Normalisatie

Bij normalisatie wordt een referentie berekend voor elk milieuthema, bijvoorbeeld de milieudruk veroorzaakt door een 'gemiddelde Europeaan per jaar'. Een relatief klein probleem kan in deze methodiek sterk worden overgewaardeerd. Het klimaatprobleem wat beleidsmatig op nummer 1 staat bij de meeste overheden en waar verreweg het meeste milieugeld aan besteed wordt, wordt in deze methodiek weinig dominant meegenomen.

Het voordeel van de methode is de relatieve eenvoud. De weegfactoren zijn eenvoudig te berekenen op basis van de reële nationale of internationale emissie-

vrachten. Het nadeel van de methode is dat wordt uitgegaan van de huidige situatie, terwijl beleid juist gericht is op verder weg liggende en nog te concretiseren doelstellingen. De methode sluit dus niet aan bij het doel van het initiatief en doet geen uitspraak over het nut van de maatregel om de overheidsdoelen te realiseren en laat dus ook niet zien hoe de maatregel maatschappelijk gezien scoort.

2.5.5 Distance-to-target

Bij deze methode worden weegfactoren bepaald aan de hand van 'hoe dicht men bij een doelstelling is'. Als men wat betreft finaal afval een reductiedoelstelling al bijna heeft gerealiseerd, maar er voor vermesting nog ver vanaf zit, dan telt het laatste zwaarder mee. Deze methode houdt dus automatisch in dat er voor elk thema een aparte doelstelling moet zijn. Als voor alle milieuproblemen dezelfde doelstellingen gelden (alles 50% omlaag) dan is de methodiek gelijk aan de normalisatiemethode met dezelfde nadelen. Als voor één thema de doelstelling al is gehaald, wordt de weegfactor gelijk aan nul. De milieumaatmethodiek zou dan dus geen realistische schatting van de milieudruk meer geven, maar wordt een maat die meet of een bedrijf de doelstelling al heeft gehaald. Bovendien zou vanaf dat moment op dat thema ook geen verbetering meer te halen zijn.

2.5.6 Preventiekosten methodiek

In het kader van emissiereductie beleid is het gebruikelijk om de effectiviteit van een maatregel te meten aan de hand van de specifieke reductiekosten: de kosten die moeten worden gemaakt per kg vermeden emissie. Zowel overheid als bedrijven streven - in principe - naar het meest kosteneffectieve pakket oftewel het pakket met maatregelen met de laagste specifieke reductiekosten.

Voor deze analyse kunnen in principe twee sets van algemene preventiekosten worden gebruikt:

- gemiddelde specifieke preventiekosten;
- marginale specifieke preventiekosten.

De gemiddelde specifieke preventiekosten worden ondermeer toegepast in de voor het Ministerie van VROM ontwikkelde Milieukostenmethodiek. Deze methodiek wordt onder andere in de geactualiseerde NeR methodiek aanbevolen als methode om de kosteneffectiviteit van een maatregel te bepalen. Overigens wordt in de NeR aangegeven dat een maatregel moet worden genomen wanneer de specifieke preventiekosten lager zijn dan bovengenoemde waarden en dat oplegging door de vergunning verlener overwogen kan worden wanneer de specifieke preventiekosten lager zijn dan 150% van bovengenoemde waarden. In dat geval kan de beschouwde maatregel worden beschouwd als een mogelijk marginale maatregel binnen een pakket.

De marginale preventiekosten zijn uitgangspunt van de door CE ontwikkelde schaduw prijzen methodiek. In een markt voor emissies is de duurste maatregel de maatregel die buiten het pakket gaat vallen op het moment dat er - alsnog - een goedkopere maatregel wordt gevonden. Het nut van de alternatieve maat-

regel wordt bepaald door de specifieke reductiekosten ervan te vergelijken met de marginale kosten. De maatregel is maatschappelijk gezien nuttig wanneer de specifieke reductiekosten lager zijn dan de maatschappelijke marginale kosten. De maatregel leidt dan immers tot een maatschappelijk voordeel omdat de maatschappelijke kosten voor realisatie van een doelstelling lager worden.

Het voordeel van preventiekosten methodieken is dat vergelijking tussen milieu-impact en economische kosten mogelijk is. De methoden zijn daarnaast via de te realiseren doelstellingen gekoppeld aan het actuele overheidsbeleid en zijn verder objectief omdat de als weegfactoren gebruikte preventiekosten reële kosten betreffen.

Het nadeel is dat de preventiekosten sterk kunnen verschillen tussen verschillende landen vanwege verschillen in prioritering in het milieubeleid en verschillen in aanwezige emissiebronnen. De beperking van het locatiespecifieke karakter is echter van toepassing op alle methoden.

2.5.7 Schadekosten methodieken, ExternE en anderen

Schadekosten kunnen net als preventiekosten worden gebruikt om emissies en andere vormen van milieubelasting te waarderen. Combinatie van de milieu-impact van een initiatief als meestoken van organisch materiaal met de specifieke schadekosten van een emissie laat zien welke kosten de maatschappij vanwege de door dit initiatief aangerichte schade zal moeten dragen of - bij vervanging van steenkool of aardgas - wat de netto invloed van het initiatief op de maatschappelijke kosten is.

Schadekosten worden - uiteraard - uitgerekend via de kosten die daadwerkelijke schades ten gevolge van emissies met zich meebrengen. Voor smogvorming wordt bijvoorbeeld gekeken naar de schade aan de luchtwegen van mensen, voor verzuring naar schade aan gebouwen en landbouw, etc. Dit betekent dat een 'impact' heel ver moet worden doorgerekend.

Het voordeel van de methode is de wetenschappelijke onderbouwing. Dit is echter meteen ook een belangrijk nadeel omdat er nog veel onzekerheid is over relaties tussen emissies c.q. milieubelasting en schade aan bijvoorbeeld gezondheid. Bovendien is het karakter van de schadekosten sterk regionaal, bijvoorbeeld vanwege verschillen in bevolkingsdichtheid, schoorsteenhoogte, windrichting, etc. Dit maakt dat - tenzij er voor iedere regio en elke activiteit aparte schadekosten zijn bepaald - geen nauwkeurige en representatieve maatschappelijke schadekosten voor een geheel initiatief te bepalen zijn. Bovendien is de berekende schade ook deels subjectief. Schade aan gezondheid wordt bepaald aan de hand van een subjectieve waardering van een mensenleven; een mens is in Europa gemiddeld € 1.000.000 waard.

2.5.8 Keuze van de weegmethode

Op basis van de overwegingen wordt:

- 1 De schaduwprizen methodiek gehanteerd voor een overall waardering van een initiatief.
- 2 De schadekostenmethodiek wordt gehanteerd voor een waardering van de impact van het initiatief op locatie van de energiecentrale.

3 Resthout

3.1 Inleiding

Het voor deze analyse onderzochte resthout betreft:

- A-hout: dit is schoon en onbehandeld resthout;
- B-hout: dit is geverfd, gelakt of verlijmd resthout;
- A-hout en B-hout kunnen nuttig worden toegepast in de houtvezelindustrie en de spaanplaatindustrie en als brandstof.

In paragraaf 3.2 worden de emissies gegeven van de inzet van resthout in de Gelderland 13 centrale. In paragraaf 3.3 wordt de alternatieve toepassing toegelicht en worden de emissies ervan aangegeven. De vergelijking van de mee-/bijstookopties met de alternatieve toepassing is in paragraaf 3.5 opgenomen.

3.2 Inzet in de Gelderland 13

Tabel 2 geeft de bijdragen per ton resthout aan de beschouwde milieuthema's. De netto emissie per ton resthout wordt berekend door de emissie per GJ steenkool te vermenigvuldigen met de stookwaarde van resthout en dit als vermeden emissie van de emissie van verbranding van resthout af te trekken. De stookwaarde van resthout is 16,7 GJ/ton as received (bij 20% vocht). Hierbij is rekening gehouden met het feit dat het verpoederen van het hout circa 140 kWh_e/ton kost. Het malen van steenkool kost daarentegen slechts 15 kWh_e/ton. De verhouding waarin steenkool wordt vervangen is daarom niet gelijk aan de verhouding tussen de stookwaarde van steenkool en resthout, maar aan:

$$\frac{38,5\% \cdot 16,7 - 0,5}{38,5\% \cdot 16,7} : 1 = 0,92 : 1 \text{ GJ} / \text{GJ}^5$$

Tabel 2 Bijdragen aan milieuthema's bij meestoken resthout in de Gelderland 13 centrale, alle kentallen per ton input

Milieuthema	Klimaat- verandering GWP100	Verzuring	Vermesting	Humane toxiciteit	Ecotoxiciteit
Eenheid	Kg CO ₂ -eq.	Kg SO ₂ -eq.	Kg PO ₄ -eq.	Kg 1,4 dichloorben- zeen-eq.	Kg 1,4 dichloorben- zeen-eq.
Emissie per ton resthout	11	0,5	0,1	40,6	0,6
Netto emissie per ton resthout	-1.726	-3,1	-0,3	-20,8	-0,02
Netto schaduwprijs	-86,3 €/ton	-12,6 €/ton	-2,6 €/ton	-1,9 €/ton	0,0 €/ton

⁵ Er is uitgegaan van een netto energetisch rendement van 38,5% (elektriciteit + warmte).

De totale netto schaduwprijs van het meestoken van resthout in de Gelderland 13 is -103,4 €/ton input resthout.

In Tabel 3 wordt met schadekosten nagegaan of inzet van resthout een verbetering van de lokale luchtkwaliteit oplevert. Voor de lokale luchtkwaliteit wordt CO₂ niet meegenomen.

Tabel 3 Financiële waardering invloed van meestoken resthout bij Gelderland 13 op lokale luchtkwaliteit

	Emissies			Schadekosten	
	Bruto emissie (kg/ton resthout)	Uitgespaard (kg/ton resthout)	Netto (kg/ton resthout)	Specifieke schadekosten per eenheid emissie(€/kg)	Brandstof specifieke schadekosten €/ton brandstof
NO _x	0,6	-0,9	-0,3	7,0	-2,2
SO ₂	0,2	-0,6	-0,5	7,6	-3,6
PM ₁₀	0,0	-0,1	-0,05	16,6	-0,7
Totaal					-6,6

De netto schadekosten van het meestoken van resthout zijn dus -6,6 €/ton. Het minteken duidt op een verbetering van de lokale luchtkwaliteit rond de Gelderland 13.

Ter vergelijking zijn de specifieke bijdragen voor steenkool en resthout per kWh_e gegeven.

Tabel 4 Vergelijking milieubelasting per kWh_e met steenkool (alle emissies in g/kWh_e)

	Klimaatverandering GWP100 (g CO ₂ -eq.)	Verzuring (g SO ₂ -eq.)	Vermesting (g PO ₄ -eq.)	Humane toxiciteit (g 1,4-dichloor benzeen-eq.)	Ecotoxiciteit (g 1,4-dichloor benzeen-eq.)
Steenkool	974,0	2,1	0,2	34,4	0,4
Resthout	6,7	0,3	0,1	24,7	0,4

De CO₂-emissie in gram per hoeveelheid opgewekte elektriciteit in kWh_e, van het meestoken van resthout zijn dus aanmerkelijk lager dan van steenkool. De emissies op de andere thema's zijn ook lager.

3.3 Alternatieve toepassing

Naast toepassing als brandstof wordt resthout gebruikt voor de productie van europallets en voor spaanplaat. Twee à driemaal zoveel wordt ingezet in de productie van spaanplaat. De toepassing als brandstof concurreert met de inzet in de spaanplaatproductie. Derhalve wordt deze alternatieve toepassing geanalyseerd. Voornaamste afzetgebieden en productielocaties van spaanplaat zijn in België en Italië. Het geproduceerde spaanplaat concurreert met gipsplaat in toepassing als wandbekleding. Voor de achtergronden van de milieuanalyse wordt verwezen naar Bijlage B. Daarin is ook een onderbouwing gegeven van de aanname dat spaanplaat concurreert met gipsplaat in constructietoepassing.

In België wordt voornamelijk A-hout verwerkt. Er wordt circa 300 kg UF-lijm⁶ per ton spaanplaat ingezet. De rest van de plaat bestaat uit resthout snippers. In Italië wordt voornamelijk B-hout - waaronder plaatmateriaal - verwerkt. Er wordt 100 kg UF-lijm per ton spaanplaat verbruikt. Door dit grote verschil in lijmgebruik en de grote milieubelasting van de productie ervan, is de analyse uitgevoerd voor zowel productie in België als Italië.

De aan spaanplaat gerelateerde milieubelasting wordt voornamelijk bepaald door de milieubelasting bij productie van de lijm. De lijm wordt geproduceerd op basis van grondstoffen, die zijn geproduceerd uit aardgas. Bij het productieproces treedt daarom een aanzienlijke CO₂-emissie op (680 kg/ton UF-lijm).

De productie van gipsplaat omvat:

- winning en transport van natuurgips;
- het drogen van natuurgips (dihydraat) tot hemihydraat;
- platen persen.

Winning van natuurgips vindt plaats in met name Frankrijk (Parijse Bekken), Duitsland en Spanje. Er is in de regel sprake van dagbouw. Natuurgips concurreert in principe met Rogips, maar blijkbaar niet primair bij toepassing in gipsplaat. In het in Zwitserland toegepaste en uit Duitsland geïmporteerde gipsplaat bijvoorbeeld wordt minder dan 1% Rogips ingezet (Eco-Invent, 2004). Dit terwijl de totale gipsproductie in Duitsland voor 50% op Rogips is gebaseerd. We hebben vanwege dit voorbeeld aangenomen dat spaanplaat met gipsplaat uit natuurgips concurreert. Daarnaast is de hoeveelheid Rogips die wordt geproduceerd uit rookgassen niet afhankelijk van de vraag naar gips maar van de hoeveelheid elektriciteit die geproduceerd wordt met kolen. De verandering in gipsproductie zal derhalve doorwerken richting natuurgips.

In eerdere CE-studies naar hergebruik van resthout in de spaanplaat productie is uitgegaan van een energieverbruik van bijna 4 GJ/ton gipsplaat. Uit recentere bronnen blijkt echter dat drogen van dihydraat momenteel slechts 0,9 GJ_{aardgas}/ton gipsplaat vergt, dus een factor 4 lager. De productie van gipsplaat blijkt in de laatste jaren dus aanmerkelijk schoner geworden te zijn. Dit heeft een belangrijk effect op de conclusies. Voor deze studie is uitgegaan van

⁶ UreumFormaldehyde lijm.

gegevens uit de Eco-Invent database. Deze gegevens zijn gecontroleerd aan de hand van informatie over het energieverbruik in de Nederlandse bouwmaterialen industrie, zoals vastgelegd in de betreffende Needis studie.

In Tabel 5 zijn de emissies van spaanplaatproductie en gipsplaatproductie weer-gegeven. Voor de berekening ervan zie bijlage B.

Tabel 5 Bijdragen aan milieuthema's van spaanplaatproductie, alle kentallen per ton resthout

Milieuthema	Klimaat- verandering GWP100	Verzuring	Vermesting	Humane toxiciteit	Ecotoxiciteit
Eenheid	Kg CO ₂ -eq.	Kg SO ₂ -eq.	Kg PO ₄ -eq.	Kg 1,4 dichloor- benzeen- eq.	Kg 1,4 dichloor- benzeen- eq.
Spaanplaatproductie in België emissie per ton resthout	279	1,6	0,3	1,1	2,5
Spaanplaatproductie in Italië emissie per ton resthout	202	0,8	0,1	0,6	0,8
Vermeden gipsplaat productie, emissies per ton resthout	182	0,2	0,3	0,02	0,00

Het energieverbruik per ton gipsplaat is dusdanig laag en het droogproces dusdanig schoon, dat er bij gipsplaatproductie minder milieubelasting optreedt dan bij spaanplaatproductie.

3.4 Vergelijking

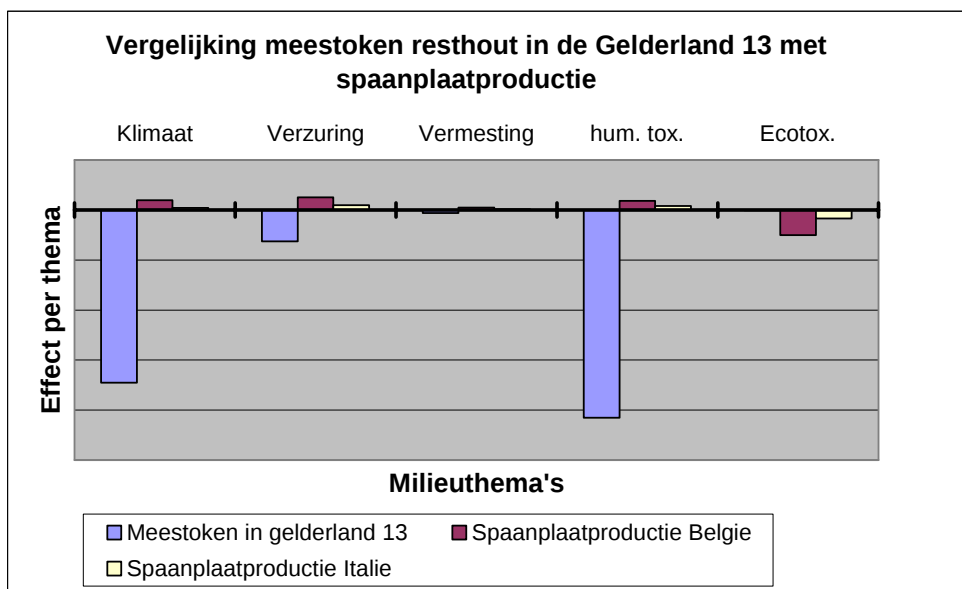
In Tabel 6 worden de milieueffecten van de alternatieve route met die van het meestoken in de Gelderland 13 vergeleken. Bij de emissies van de spaanplaatproductie zijn de vermeden emissies van de gipsplaatproductie opgeteld.

Tabel 6 Vergelijking van emissies van inzet van de alternatieve brandstof resthout in de Gelderland 13 met de emissies van de spaanplaatproductie (emissies per ton resthout)

Milieuthema	Klimaat- verandering GWP100	Verzuring	Vermesting	Humane toxiciteit	Ecotoxiciteit
Eenheid	Kg CO ₂ -eq.	Kg SO ₂ -eq.	Kg PO ₄ -eq.	Kg 1,4 dichloorben- zeen-eq.	Kg 1,4 dichloor- benzeen- eq.
Meestoken in Gel- derland 13	-1.726	-3,1	-0,3	-20,8	-0,02
Spaanplaatproductie in België	97	1,3	0,2	0,9	-2,51
Spaanplaatproductie in Italië	20	0,5	0,1	0,4	-0,84

In Figuur 1 zijn deze resultaten grafisch weergegeven. De vergelijking tussen de routes is per thema. figuur is niet geschikt om de thema's onderling te vergelijken. Daarvoor wordt verwezen naar Figuur 2.

Figuur 1 Grafische weergave milieueffecten per thema van resthout⁷

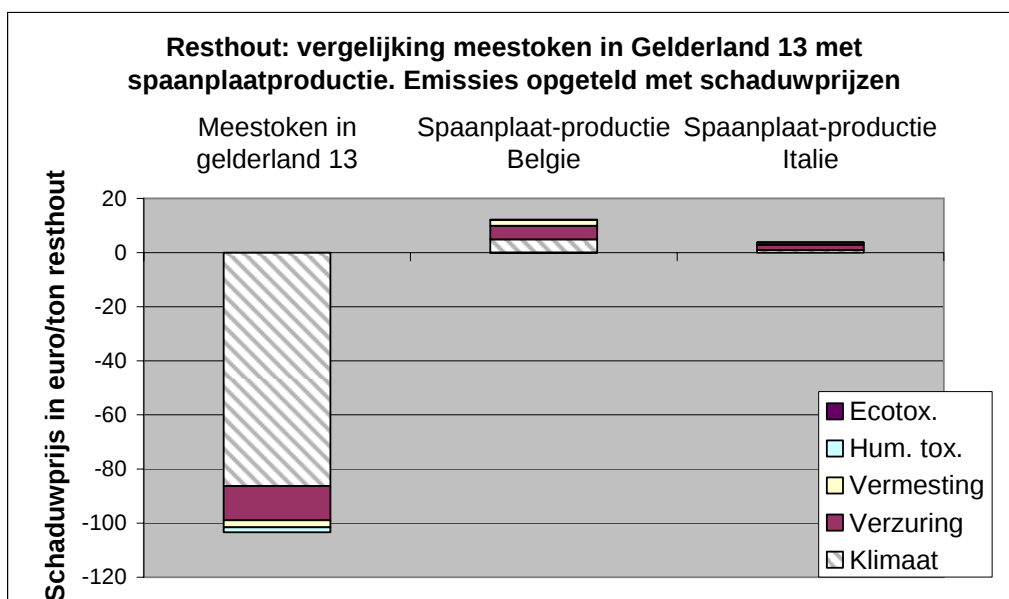


Uit Figuur 1 blijkt dat op alle thema's behalve ecotoxiciteit meestoken van resthout in de Gelderland 13 gunstiger is dan de productie van spaanplaat.

In Figuur 2 zijn de thema's met schaduwrijzen bij elkaar opgeteld.

⁷ Om de score op de thema's verzuring, vermesting, humane toxiciteit en ecotoxiciteit zichtbaar te maken t.o.v. broeikas effect zijn de scores van deze met 100 vermenigvuldigd.

Figuur 2 Thema's met schaduw prijzen opgeteld



Aan Figuur 2 is duidelijk te zien dat meestoken van het resthout in de Gelderland 13 aanmerkelijk gunstiger is dan de productie van spaanplaat. Dit is vooral toe te schrijven aan het vermeden broeikaseffect van de vermeden inzet van de fossiele brandstof steenkool door de inzet van resthout. Tevens geeft de productie van gipsplaat, het concurrerende alternatief van spaanplaat, geringere emissies dan de productie van spaanplaat.

Bij de productie van spaanplaat geeft de productie van de gebruikte lijm de hoogste milieueffecten. Gebruik van lijm geeft bijvoorbeeld een bijdrage aan klimaatverandering van 200 - 280 kg CO₂-eq./ton resthout.

Doordat bij gipsplaat productie voor drogen slechts 0,9 MJ/kg aan aardgas hoeft te worden gebruikt is er per eenheid gipsplaat slechts een emissie van $2,1 \times 56 = 115$ kg CO₂-eq./ton spaanplaat. Het is duidelijk dat gipsplaat aanzienlijk minder milieubelasting geeft. Bij een specifiek aardgasgebruik voor drogen van 3,8 MJ/kg - zoals in voorgaande CE-studies werd aangehouden - zou deze waarde vanzelfsprekend 4 maal hoger liggen en zou gipsplaat duidelijk meer bijdragen aan de milieubelasting.

In paragraaf 3.2 werd reeds geconstateerd dat het meestoken van resthout resulteert in een verbetering van de lokale luchtkwaliteit rond de Gelderland 13.

4 Frituurvet

4.1 Inleiding

Opgebruikt frituurvet is afkomstig van horeca en grote keukens. Frituurvet is bij de huidige regelgeving een afvalstof, die niet meer nuttig kan worden toegepast in bijvoorbeeld de veevoeder industrie. Het wordt momenteel toegepast als alternatieve brandstof in energiecentrales en in motoren. Zo wordt frituurvet in Duitsland en Oostenrijk opgewerkt en gebruikt als brandstof voor stationaire W/K-motoren of veresterd tot biodiesel en gebruikt als autobrandstof.

In paragraaf 2 worden de emissies gegeven van de inzet van frituurvet in de Gelderland 13 centrale. In paragraaf 3 wordt de alternatieve toepassing toegelicht en worden de emissies ervan aangegeven. De vergelijking van de mee-/bijstookopties met de alternatieve toepassing is in paragraaf 5 opgenomen.

4.2 Inzet in de Gelderland 13

Tabel 7 geeft de bijdragen per ton frituurvet aan de beschouwde milieuthema's. De netto emissie per ton frituurvet wordt berekend door de emissie per GJ steenkool te vermenigvuldigen met de stookwaarde van frituurvet en dit als vermeden emissie van de emissie van verbranding van frituurvet af te trekken. De stookwaarde van frituurvet is 39 GJ/ton.

Tabel 7 Bijdragen aan milieuthema's bij meestoken frituurvet in de Gelderland 13 centrale, alle kentallen per ton input

Milieuthema	Klimaat-verandering GWP100	Verzuring	Vermesting	Humane toxiciteit	Ecotoxiciteit
Eenheid	Kg CO ₂ -eq.	Kg SO ₂ -eq.	Kg PO ₄ -eq.	Kg 1,4 dichloor-benzeen-eq.	Kg 1,4 dichloor-benzeen-eq.
Emissie per ton frituurvet	21	1,9	0,1	1,7	0,5
Netto emissie per ton frituurvet	-4.025	-6,6	-0,7	-141,3	-1,0
Netto schaduwprijs	-201,2 €/ton	-26,6 €/ton	-6,7 €/ton	-12,7 €/ton	0,0 €/ton

De totale netto schaduwprijs van het meestoken van frituurvet in de Gelderland 13 is -247,3 €/ton input frituurvet.

In Tabel 8 wordt met schadetekosten nagegaan of inzet van frituurvet een verbetering van de lokale luchtkwaliteit oplevert. Voor de lokale luchtkwaliteit wordt CO₂ niet meegenomen.

Tabel 8 Financiële waardering invloed van meestoken frituurvet bij Gelderland 13 op lokale luchtkwaliteit

	Emissies			Schadetekosten	
	Bruto emissie (kg/ton frituurvet)	Uitgespaard (kg/ton frituurvet)	Netto (kg/ton frituurvet)	Specifieke schadekosten per eenheid emissie(€/kg)	Brandstof specifieke schadekosten €/ton brandstof
NO _x	0,9	-2,4	-1,5	7,0	-10,3
SO ₂	1,2	-1,6	-0,4	7,6	-3,0
PM ₁₀	0,0	-0,1	-0,1	16,6	-2,4
Totaal					-15,7

De netto schadetekosten van het meestoken van frituurvet zijn dus -15,7 €/ton. Het minteken duidt op een verbetering van de lokale luchtkwaliteit rond de Gelderland 13.

Ter vergelijking zijn de specifieke bijdragen voor steenkool en frituurvet per kWh_e gegeven.

Tabel 9 Vergelijking milieubelasting per kWh_e met steenkool (alle emissies in g/kWh_e)

	Klimaatverandering GWP100 (g CO ₂ -eq.)	Verzuring (g SO ₂ -eq.)	Vermesting (g PO ₄ -eq.)	Humane toxiciteit (g 1,4-dichloor benzeen-eq.)	Ecotoxiciteit (g 1,4-dichloor benzeen-eq.)
Steenkool	974,0	2,1	0,2	34,4	0,4
Frituurvet	5,1	0,5	0,03	0,4	0,1

De CO₂-emissie in gram per hoeveelheid opgewekte elektriciteit in kWh_e, van het meestoken van frituurvet zijn dus aanmerkelijk lager dan van steenkool. De emissies op de andere thema's zijn ook lager.

4.3 Alternatieve toepassing

Voor frituurvet zijn twee alternatieve routes beschouwd:

- inzet van voorbewerkt frituurvet in een W/K-dieselmotor;
- opwerken van voorbewerkt frituurvet tot biodiesel.

Beide routes vormen de meest waarschijnlijke alternatieven voor frituurvet in Duitsland en Oostenrijk en zouden daarom ook een reëel alternatief kunnen zijn voor in Nederland vrijkomend frituurvet.

Voor de productie van biodiesel uit frituurvet is gebruik gemaakt van een combinatie van bestaande LCA's over deze route en beschrijvingen van afvalverwerkingsystemen en initiatieven voor de productie van alternatieve motorvoertuig brandstoffen in Europese landen.

De milieubelasting gerelateerd aan de inzet van frituurvet in een stationaire W/K-motor is vooral middels eigen berekening bepaald. De benodigde informatie over de chemische samenstelling van frituurvet en de restconcentraties in de af-

gassen van de motor zijn afkomstig uit rapporten die kunnen worden gedownload van internet. De rapporten betreffen een beschrijving van praktijkervaringen, zoals de resultaten van metingen van rookgas restconcentraties bij motoren.

Bij inzet als brandstof voor W/K-motoren wordt - conform de CO₂-index methode - warmteproductie in een HR-ketel en elektriciteitproductie in een aardgas-gestookte STEG uitgespaard. Daardoor wordt ook de emissie van CO₂ van fossiele oorsprong uitgespaard.

Aan de andere kant treedt bij de uitgespaarde processen nauwelijks emissie van verzurende en vermestende stoffen en toxische verontreinigingen op. Motoren daarentegen produceren grote hoeveelheden NO_x, waardoor de bijdragen per ton frituurvet aan verzuring, vermesting en toxiciteit duidelijk hoger is dan bij de uitgespaarde processen. De NO_x-emissie bepaalt de bijdrage aan deze milieuthema's.

Inzet van frituurvet in W/K-motoren is daarom een maatregel, die alleen gunstig voor het milieu is wat betreft broeikasgasemissies.

Bij inzet als biodiesel wordt conventionele, op basis van aardolie geproduceerde diesel uitgespaard. Zowel bij diesel als bij biodiesel wordt de totale milieubelasting voor het grootste deel bepaald door de emissies bij inzet van de brandstof in auto's. Productie van de brandstof draagt in beide gevallen weinig bij.

Biodiesel geeft lagere emissies van CO, PM₁₀ en koolwaterstoffen - verbrandt dus vollediger - maar geeft een hogere NO_x-emissie dan fossiele diesel.

In Tabel 10 wordt het emissieprofiel gegeven van de twee alternatieve routes.

Tabel 10 Bijdragen aan milieuthema's van inzet frituurvet in W/K motor en als biodiesel, alle kentallen per ton frituurvet

Milieuthema	Klimaat-verandering GWP100	Verzuring	Vermesting	Humane toxiciteit	Ecotoxiciteit
Eenheid	Kg CO ₂ -eq.	Kg SO ₂ -eq.	Kg PO ₄ -eq.	Kg 1,4 dichloorbenzeen-eq.	Kg 1,4 dichloorbenzeen-eq.
Inzet als biodiesel	-2.340	0,4	0,1	1,0	0,03
Inzet in W/K motor	-2.140	8,9	0,6	6,0	0,1

4.4 Vergelijking

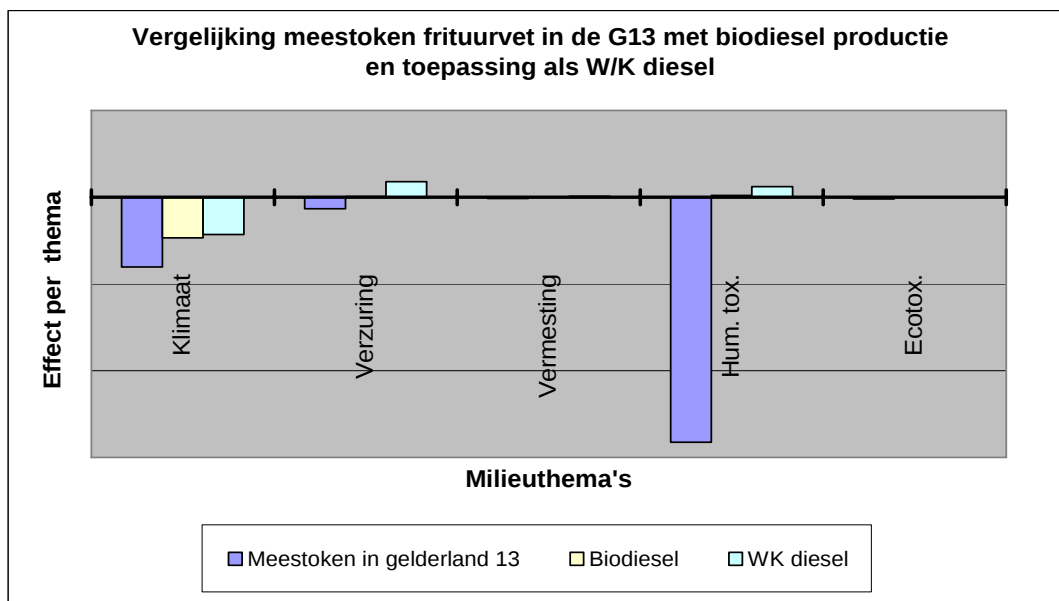
In Tabel 11 worden de milieueffecten van de alternatieve routes met het meestoken in de Gelderland 13 vergeleken.

Tabel 11 Vergelijking van emissies van inzet van de alternatieve brandstof frituurvet in de Gelderland 13 met de emissies van de alternatieve routes (emissies per ton frituurvet)

Milieuthema	Klimaat- verandering GWP100	Verzuring	Vermesting	Humane toxiciteit	Ecotoxiciteit
Eenheid	Kg CO ₂ -eq.	Kg SO ₂ -eq.	Kg PO ₄ -eq.	Kg 1,4 dichloorben- zeen-eq.	Kg 1,4 dichloorben- zeen-eq.
Meestoken in Gel- derland 13	-4.025	-6,6	-0,7	-141,3	-1,0
Inzet in W/K moto- ren	-2.140	8,9	0,6	6,0	0,1
Toepassing als bio- diesel	-2.340	0,4	0,1	1,0	0,03

In Figuur 3 zijn deze resultaten grafisch weergegeven.

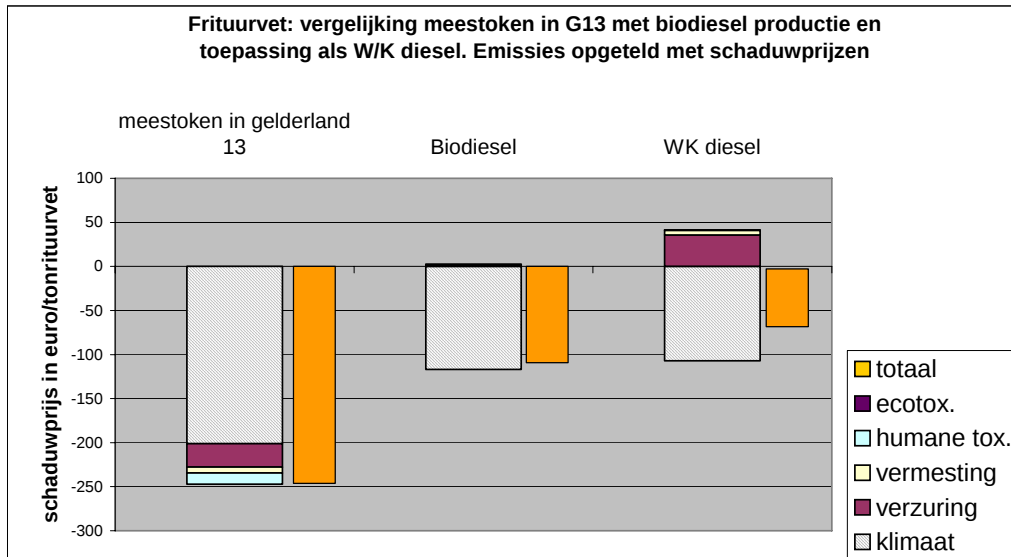
Figuur 3 Grafische weergave milieueffecten per thema van frituurvet⁸



⁸ Om de score op de thema's verzuring, vermesting, humane toxiciteit en ecotoxiciteit zichtbaar te maken t.o.v. broeikas effect zijn de scores van deze met 100 vermenigvuldigd.

Meestoken in de Gelderland 13 is op alle thema's gunstiger dan de andere routes. In Figuur 4 zijn de thema's met schaduw prijzen bij elkaar opgeteld.

Figuur 4 Thema's met schaduw prijzen opgeteld



Meestoken in de Gelderland 13 is duidelijk het meest gunstig. Bij de Gelderland 13 worden enige verzurende emissies die bij het verbranden van steenkool ontstaan vermeden door de geringere verzurende emissies van het meestoken van frituurvet. In paragraaf 4.2 werd reeds geconstateerd dat het meestoken van frituurvet resulteert in een verbetering van de lokale luchtkwaliteit rond de Gelderland 13.



5 Palmolie vetzuren

5.1 Inleiding

Palmolie vetzuren zijn een bijproduct van ruwe palmolie raffinage. Palmolie vetzuren van voldoende hoge kwaliteit worden in de huidige marktsituatie vooral ingezet als een energierijke toeslagstof in veevoeders. De vetzuren zorgen er daarnaast voor dat er vet wordt opgeslagen in het weefsel tussen de spieren in het slachtvee, waardoor het malser is.

In paragraaf 2 worden de emissies gegeven van de inzet van palmolie vetzuren in de Gelderland 13 centrale. In paragraaf 3 wordt de alternatieve toepassing toegelicht en worden de emissies ervan aangegeven. De vergelijking van de mee-/bijstookopties met de alternatieve toepassing is in paragraaf 4 opgenomen.

5.2 Inzet in de Gelderland 13

Tabel 12 geeft de bijdragen aan de beschouwde milieuthema's van de inzet per ton palmolie vetzuren in de Gelderland 13 centrale.

De netto emissie per ton palmolie vetzuren wordt berekend door de emissie per GJ steenkool te vermenigvuldigen met de stookwaarde van palmolievetzuren en dit als vermeden emissie van de emissie van verbranding van de palmolie vetzuren af te trekken. De stookwaarde van palmolie vetzuren is 37,5 MJ/kg.

Tabel 12 Bijdragen aan milieuthema's bij meestoken palmolie vetzuren in de Gelderland 13 centrale, alle kentallen per ton input

Milieuthema	Klimaat-verandering GWP100	Verzuring	Vermesting	Humane toxiciteit	Ecotoxiciteit
Eenheid	Kg CO ₂ -eq.	Kg SO ₂ -eq.	Kg PO ₄ -eq.	Kg 1,4 dichloor-benzeen-eq.	Kg 1,4 dichloor-benzeen-eq.
Emissie per ton palmolie vetzuren	21	0,8	0,1	5,4	0,6
Netto emissie per ton palmolie vetzuren	-3.890	-7,5	-0,7	-132,8	-0,9
Netto schaduwprijs	-194,5 €/ton	-30,0 €/ton	-6,5 €/ton	-11,9 €/ton	0,0 €/ton

De totale netto schaduwprijs van het meestoken van palmolie vetzuren in de Gelderland 13 is -243,0 €/ton input palmolie vetzuren.

In de Tabel 13 wordt met schadetekosten nagegaan of inzet van palmolie vetzuren een verbetering van de lokale luchtkwaliteit oplevert. Voor de lokale luchtkwaliteit wordt CO₂ niet meegenomen.

Tabel 13 Financiële waardering invloed van meestoken van palmolie vetzuren bij Gelderland 13 op lokale luchtkwaliteit

	Emissies			Schadetekosten	
	Bruto emissie (kg/palmolie vetzuren)	Uitgespaard (kg/ton palmolie vetzuren)	Netto (kg/ton palmolie vetzuren)	Specifieke schade- kosten per een- heid emissie(€/kg)	Brandstof specifieke schadetekosten (€/ton brandstof)
NO _x	0,9	-2,3	-1,4	7,0	-10,0
SO ₂	0,2	-1,5	-1,3	7,6	-9,8
PM ₁₀	0,0	-0,1	-0,1	16,6	-2,3
Totaal					-22,1

De netto schadetekosten van het meestoken van palmolie vetzuren zijn dus -22,1 €/ton. Het minteken duidt op een verbetering van de lokale luchtkwaliteit rond de Gelderland 13.

Ter vergelijking zijn ook de specifieke bijdragen voor steenkool en palmolie vetzuren per kWh_e gegeven.

Tabel 14 Vergelijking milieubelasting per kWh_e met steenkool (alle emissies in g/kWh_e)

	Klimaatver- andering GWP100 (g CO ₂ -eq.)	Verzuring (g SO ₂ -eq.)	Vermesting (g PO ₄ -eq.)	Humane toxiciteit (g 1,4- dichloor- benzeen-eq.)	Ecotoxiciteit (g 1,4-dichloor- benzeen-eq.)
Steenkool	974,0	2,1	0,2	34,4	0,4
Palmolie vetzuren	5,1	0,2	0,03	1,3	0,1

De CO₂-emissie in gram per hoeveelheid opgewekte elektriciteit in kWh_e, van het meestoken van palmolie vetzuren zijn dus aanmerkelijk lager dan van steenkool. De emissies op de andere thema's zijn ook lager.

5.3 Alternatieve toepassing

Palmolie vetzuren van voldoende hoge kwaliteit worden in de huidige marktsituatie vooral ingezet als een energierijke toeslagstof in veevoeders.

Het gebruik van palmolievetzuren door Elektrabel zou kunnen leiden tot drie effecten of een mix van deze effecten:

- Overschakeling naar een andere olie (bijvoorbeeld sojaolie) door de veevoerindustrie.
- Overschakeling naar palmolie door de veevoerindustrie dat leidt tot extra vraag naar palmolie en extra plantages in Indonesië of Maleisië.
- Overschakeling naar palmolie door de veevoerindustrie dat leidt tot extra vraag naar palmolie dat ingevuld wordt met efficiëntere productie op bestaande plantages omdat bestuurlijk voorkomen wordt dat er extra plantages worden aangelegd ten koste van tropisch bos.

Hieronder worden deze 3 opties geanalyseerd op waarschijnlijkheid.

Ad a

Wanneer geen palmolie vetzuren beschikbaar zijn als grondstof voor veevoer, wordt nu al vaak ruwe palmolie gebruikt als toeslagstof met dezelfde malsmakende werking. Bij inzet van palmolie vetzuren als alternatieve brandstof is dit ook het meest waarschijnlijke, meer waarschijnlijk dan het gebruik van bijvoorbeeld sojaolie als toeslagstof. Sojaolie heeft immers een hogere marktprijs.

Ad b

Extra vraag naar palmolie zou kunnen leiden tot extra plantages ten koste van tropisch bos. In dit project was niet de tijd om deze route grondig te analyseren. Daarnaast heeft Electrabel aangegeven dat het haar beleid is om dit effect te voorkomen. Om deze twee redenen is dit effect niet doorgerekend maar wel wordt het opgenomen als mogelijkheid in de conclusies.

Ad c:

Indien strikt wordt geregeld dat er in Indonesië en Maleisië geen nieuwe plantages voor palmolie worden opgericht ten koste van tropisch bos is het intensiveren en efficiënter maken van de teelt een mogelijkheid. Als illustratie is deze route geanalyseerd. Het is echter onbekend of deze route het meest waarschijnlijk is. Deze route vergt een duidelijke beleid in de betreffende landen tegen het omkappen van bos voor plantages.

Illustratieve analyse extra palmolie uit bestaande plantages

De milieuanalyse voor vetzuren toepassen in mengvoeders is vooral een milieuanalyse van de productie van ruwe palmolie. De gegevens voor teelt van oliepalmen zijn voornamelijk ontleend aan een economische analyse van de teelt van olierijke gewassen in verschillende continenten. Gegevens over ruwe palmolie productie zijn vooral ontleend aan beschrijvingen van klimaatprojecten met betrekking tot palmolie fabricage, bijvoorbeeld:

- projecten waarin de inzet van organisch restmateriaal van palmolie productie als brandstof wordt geoptimaliseerd;
- projecten waarin emissies van methaan worden geminimaliseerd.

Achtergrondgegevens over bijvoorbeeld de productie van kunstmest zijn ontleend aan de Eco-Invent database.

Een vergelijking van palmolie vetzuren en ruwe palmolie op basis van milieubelasting omvat in principe een analyse van de milieubelasting die optreedt bij de volgende processen:

- productie van vetzuren en olie;
- transporten en verwerking van de vetzuren of olie in veevoeders;
- inzet van de veevoeders in veehouderij.

Om praktische redenen hebben we de analyse beperkt tot de eerste stap: productie. De redenen hiervoor zijn:

- de vetzuren zullen natuurlijk van de raffinaderij naar de veevoederproducent moeten worden getransporteerd, maar we hebben aangenomen dat dit transport evenveel milieubelasting met zich meebrengt als het transport van aangelande ruwe palmolie van haven naar veevoederproducent;
- inzet van vetzuren en ruwe palmolie geeft ongetwijfeld milieubelasting in de vorm van excrementen, ammoniakemissies en emissies van en broeikasgasen. Kwantificering hiervan en het bepalen van een eventueel verschil in milieubelasting past niet binnen deze studie.

De concurrerende route die is beschouwd, is dus het gebruik van ruwe palmolie in veevoeder. Het is niet zeker of dit leidt tot de aanleg van nieuwe productieplantages ten koste van natuurgebieden in Indonesië en Maleisië. In deze analyse hebben we aangenomen dat dit niet het geval is. Indien dit wel het geval is dient rekening gehouden te worden met broeikasemissies als gevolg van verandering in opslagcapaciteit van CO₂ tussen natuurgebied en plantage en emissies als gevolg van bijvoorbeeld methaan door rot van organisch materiaal in geval van kap oerwoud. Tevens heeft dit dan effect op biodiversiteit.

Productie van vetzuren is vrijwel milieubelasting vrij. Het betreft een bijproduct met een lagere economische waarde dan de gedestilleerde palmolie: De prijs voor vetzuren is in de regel 25% - 40% lager dan de prijs voor de gedestilleerde olie. Bovendien is de milieubelasting bij raffinage vooral beperkt tot inzet van een bescheiden hoeveelheid aardgas (0,7 GJ/ton ruwe palmolie) voor opwekking van stoom. Dit betekent dat de aan vetzuren gerelateerde milieubelasting beperkt blijft tot een bijdrage aan klimaatverandering van $0,7 \times 56 \times 70\% \approx 30 \text{ kg CO}_2\text{-eq./ton}$ en een verwaarloosbare bijdrage aan andere milieuthema's. Deze milieubelasting is dusdanig laag dat ze in de analyse verwaarloosd is.

Productie van ruwe palmolie daarentegen geeft een aanzienlijke milieubelasting per ton product. Oliepalm teelt vindt met name in Indonesië en Maleisië plaats. De vruchten worden ter plekke verwerkt tot ruwe palmolie, die ook grotendeels ter plekke wordt geraffineerd. Bij teelt wordt onder andere ammoniumnitraat kunstmest ingezet. De productie daarvan gaat gepaard met een hoge emissie van N₂O. Er worden daarnaast ook fosfaat kunstmest en andere N-kunstmest toegepast. Productie van kunstmest is energie-intensief en gaat daarom gepaard met aanzienlijke CO₂-emissies en aan ondervuring gerelateerde procesemissies.

Bij verwerking van de vruchten komt een aanzienlijke stroom afvalwater vrij, die sterk vervuild is met organisch materiaal. De reiniging in open anaerobe vijvers geeft een hoge CH₄-emissie als gevolg van de anaerobe omzetting van het organische materiaal in biogas.

In Tabel 15 wordt het emissieprofiel gegeven van de alternatieve route waarbij zoals gezegd er van uitgegaan is dat geen extra plantages worden aangelegd ten koste van natuurgebieden.

Tabel 15 Bijdragen aan milieuthema's van inzet palmolie vetzuren in veevoeder alle kentallen per ton palmolie vetzuren (geen aanleg extra plantages voor palmolie)

Milieuthema	Klimaat- verandering GWP100	Verzuring	Vermesting	Humane toxi- citeit	Ecotoxiciteit
Eenheid	Kg CO ₂ -eq.	Kg SO ₂ -eq.	Kg PO ₄ -eq.	Kg 1,4 dichloorben- zeen-eq.	Kg 1,4 dichloorben- zeen-eq.
Netto bijdragen inzet in veevoeder	-1.091	-2,5	-0,04	-4,6	-0,4

De bijdrage aan klimaatverandering wordt voornamelijk bepaald door het vrijkomen van methaan bij waterzuivering bij productie van ruwe palmolie en in mindere mate door broeikasgasemissies bij productie en gebruik van kunstmest. De methaanemissie bij waterzuivering geeft een specifieke bijdrage van bijna 750 kg CO₂-eq./ton CPO.

5.4 Vergelijking

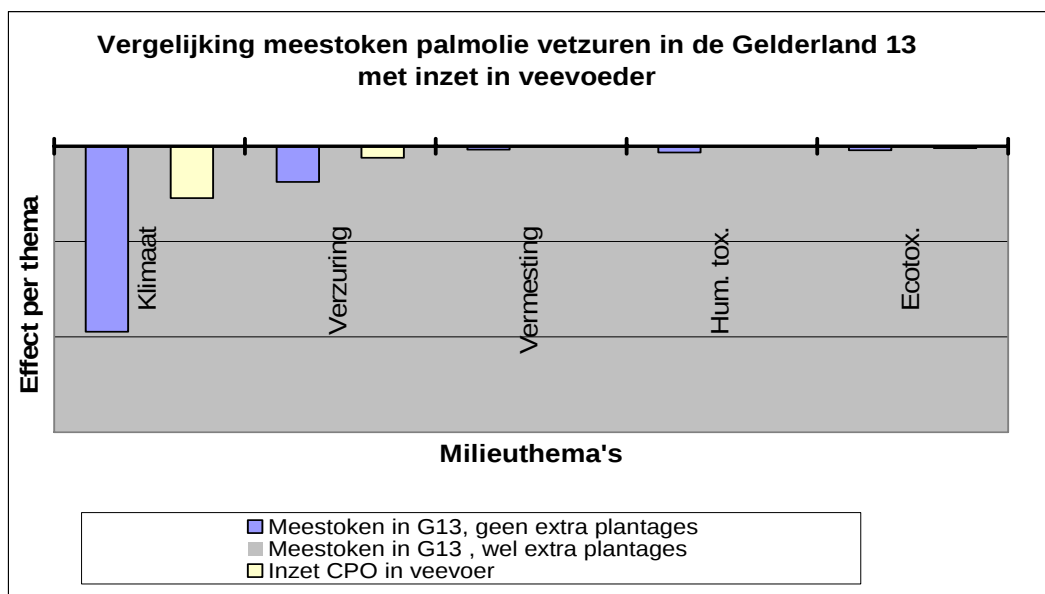
In Tabel 16 worden de milieueffecten van de alternatieve route met die van het meestoken in de Gelderland 13 vergeleken.

Tabel 16 Vergelijking van emissies van inzet van de alternatieve brandstof palmolie vetzuren in de Gelderland 13 met de emissies van de alternatieve route (emissies per ton palmolie vetzuren)

Milieuthema	Klimaat- verandering GWP100	Verzuring	Vermesting	Humane toxi- citeit	Ecotoxiciteit
Eenheid	Kg CO ₂ -eq.	Kg SO ₂ -eq.	Kg PO ₄ -eq.	Kg 1,4 dichloorben- zeen-eq.	Kg 1,4 dichloorben- zeen-eq.
Meestoken in G13, geen extra plantages	-3.890	-7,5	-0,7	-132,8	-0,9
Meestoken in G13 wel extra plantages	?	?	?	?	?
Inzet in veevoeder	-1.091	-2,5	-0,04	-4,6	-0,4

In Figuur 5 zijn deze resultaten grafisch weergegeven.

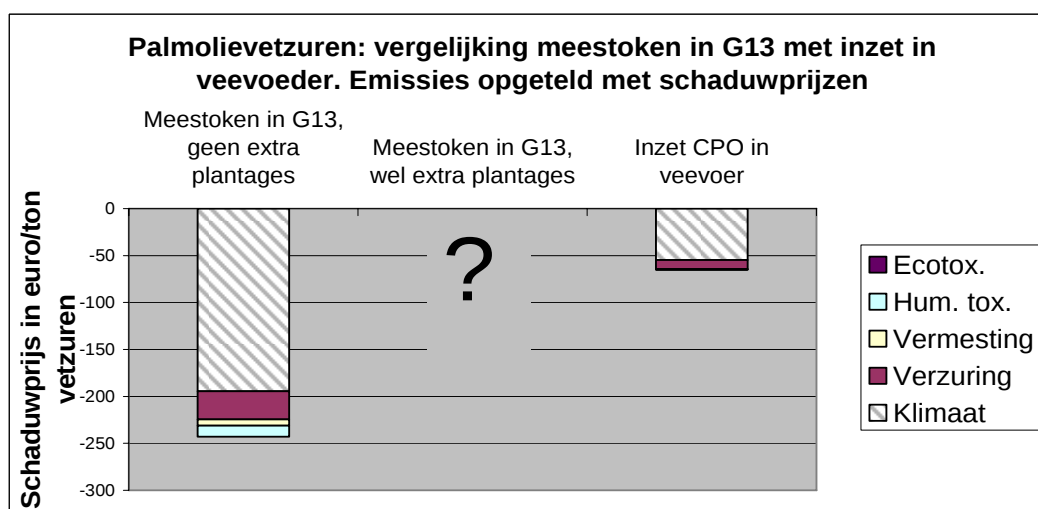
Figuur 5 Grafische weergave milieueffecten per thema van palmolie vetzuren. Meestoken in G13 waarbij wel extra plantages worden aangelegd is niet ingevuld ⁹



Inzet in de Gelderland 13 geeft een duidelijk lagere netto bijdrage aan de beschouwde milieuthema's dan inzet in veevoeder. Wederom: er is van uitgegaan dat als gevolg van de inzet als alternatieve brandstof geen extra plantages worden aangelegd ten koste van natuurgebieden voor inzet van palmolie als malsmaker in veevoer. De score op het milieuthema broeikas effect zal dan anders zijn.

In Figuur 6 zijn de thema's met schaduwpreizen bij elkaar opgeteld.

Figuur 6 Thema's met schaduwpreizen opgeteld



⁹ Om de score op de thema's verzuring, vermesting en ecotoxiciteit zichtbaar te maken t.o.v. broeikas effect zijn de scores van deze met 100 vermenigvuldigd.

Uit Figuur 6 blijkt dat de milieukosten van het meestoken van palmolie vetzuren in de Gelderland 13 bij de gekozen uitgangspunten duidelijk gunstiger zijn dan inzet in veevoeder als dit niet leidt tot extra plantages. Indien dit effect wel optreedt dan zal milieukostenscore ongunstiger zijn maar hoeveel is onbekend want dat hebben in het kader van dit project niet kunnen onderzoeken.

In paragraaf 5.2 werd reeds geconstateerd dat het meestoken van palmolievetzuren resulteert in een verbetering van de lokale luchtkwaliteit rond de Gelderland 13.



6 Tall oil pitch

6.1 Inleiding

Tall oil pitch is de 'bottom' oftewel het residu van tall oil destillatie. Tall oil is een bijproduct van het sulfaat pulpproces en bestaat uit niet vluchtige rosin acids, hoog moleculaire alcoholen, vetzuur esters van sterols en lignine. De lichtere en vluchtigere verbindingen worden tijdens destillatie afgescheiden, de zwaardere componenten blijven als pitch achter. De pitch vindt vooral toepassing als brandstof en in beperkte mate als additief in met name asfalt, rubber, drukinkten. Daarnaast wordt het beschouwd als een potentiële waardevolle bron van cholesterol verlagende vetzuren.

In paragraaf 2 worden de emissies gegeven van de inzet van vetzuren in de Gelderland 13 centrale. In paragraaf 3 wordt de alternatieve toepassing toege- licht en worden de emissies ervan aangegeven. De vergelijking van de mee- / bijstookopties met de alternatieve toepassing is in paragraaf 4 opgenomen.

6.2 Inzet in de Gelderland 13

Tabel 17 geeft de bijdragen per ton tall oil pitch aan de beschouwde milieu- thema's.

De netto emissie per ton tall oil pitch wordt berekend door de emissie per GJ steenkool te vermenigvuldigen met de stookwaarde van tall oil pitch en dit als vermeden emissie van de emissie van verbranding van tall oil pitch af te trekken. De stookwaarde van tall oil pitch is 38,4 GJ/ton.

Tabel 17 Bijdragen aan milieuthema's bij meestoken tall oil pitch in de Gelderland 13 centrale, alle kentallen per ton input

Milieuthema	Klimaat- verandering GWP100	Verzuring	Vermesting	Humane toxiciteit	Ecotoxiciteit
Eenheid	Kg CO ₂ -eq.	Kg SO ₂ -eq.	Kg PO ₄ -eq.	Kg 1,4 dichloor- benzeen- eq.	Kg 1,4 dichloor- benzeen- eq.
Emissie per ton tall oil pitch	21	1,6	0,1	2,1	0,5
Netto emissie per ton tall oil pitch	-3.976	-6,8	-0,7	-139,1	-0,9
Netto schaduwprijs	-198,8 €/ton	-27,2 €/ton	-6,3 €/ton	-12,5 €/ton	0,0 €/ton

De totale netto schaduwprijs van het meestoken van tall oil pitch in de Gelderland 13 is -244,8 €/ton input tall oil pitch.

In de volgende tabel wordt met schadetekosten nagegaan of inzet van tall oil pitch een verbetering van de lokale luchtkwaliteit oplevert. Voor de lokale luchtkwaliteit wordt CO₂ niet meegenomen.

Tabel 18 Financiële waardering invloed van meestoken van tall oil pitch bij Gelderland 13 op lokale luchtkwaliteit

	Emissies			Schadetekosten	
	Bruto emissie (kg/ton tall oil pitch)	Uitgespaard (kg/ton tall oil pitch)	Netto (kg/ton tall oil pitch)	Specifieke schadekosten per eenheid emissie(€/kg)	Brandstof specifieke schadekosten (€/ton brandstof)
NO _x	0,9	-2,3	-1,5	7,0	-10,2
SO ₂	0,9	-1,6	-0,7	7,6	-5,0
PM ₁₀	0,0	-0,1	-0,1	16,6	-2,3
Totaal					-17,6

De netto schadetekosten van het meestoken van tall oil pitch zijn dus -17,6 €/ton. Het minteken duidt op een verbetering van de lokale luchtkwaliteit rond de Gelderland 13.

Ter vergelijking zijn ook de specifieke bijdragen voor steenkool en tall oil pitch per kWh_e gegeven.

Tabel 19 Vergelijking milieubelasting per kWh_e met steenkool (alle emissies in g/kWh_e)

	Klimaatverandering GWP100 (g CO ₂ -eq.)	Verzuring (g SO ₂ -eq.)	Vermesting (g PO ₄ -eq.)	Humane toxiciteit (g 1,4-dichloor-Benzeen-eq.)	Ecotoxiciteit (g 1,4-dichloor-benzeen-eq.)
Steenkool	974,0	2,1	0,2	34,4	0,4
Tall oil pitch	5,10	0,39	0,03	0,50	0,13

De CO₂-emissie in gram per hoeveelheid opgewekte elektriciteit in kWh_e, van het meestoken van tall oil pitch zijn dus aanmerkelijk lager dan van steenkool. De emissies op de andere thema's zijn ook lager.

6.3 Alternatieve toepassing

De in deze studie beschouwde alternatieve verwerkingsmethode is de extractie van sterolen en verbranding van het residu in Gelderland 13 energiecentrale. Sterolen zijn vetzuren, die een verlaging van het cholesterol gehalte in het bloed kunnen bewerkstelligen en daardoor de kans op hart- en vaatziekten kunnen reduceren. Bij extractie wordt circa 8% ± 2% van de pitch als sterolen afgescheiden. De resterende 92% kan alsnog als brandstof worden ingezet. Zoals aangegeven in Bijlage E is de aan extractie van tall oil gerelateerde milieubelasting beperkt tot minimale emissies naar lucht en een bescheiden energieverbruik met een orde van grootte van 0,5 GJ_{aardgas}/ton pitch.

In Tabel 20 wordt het emissieprofiel gegeven van de alternatieve route.

Tabel 20 Bijdragen aan milieuthema's van de alternatieve route van tall oil pitch; alle kentallen per ton tall oil pitch

Milieuthema	Klimaat-verandering GWP100	Verzuring	Vermesting	Humane toxiciteit	Ecotoxiciteit
Eenheid	Kg CO ₂ -eq.	Kg SO ₂ -eq.	Kg PO ₄ -eq.	Kg 1,4 dichloorbenzeen-eq.	Kg 1,4 dichloorbenzeen-eq.
Extractie	25				
Meestoken overblijvende materiaal in G13	-3.661	-6,3	-0,7	-128,1	-0,9

De milieubelasting bij extractie heeft betrekking op aardgasgebruik bij extractie. De (uitgespaarde) milieubelasting bij meestoken van het resterende materiaal is geschat door 92% te nemen van de milieubelasting bij meestoken van de volle 100% aan pitch.

6.4 Vergelijking

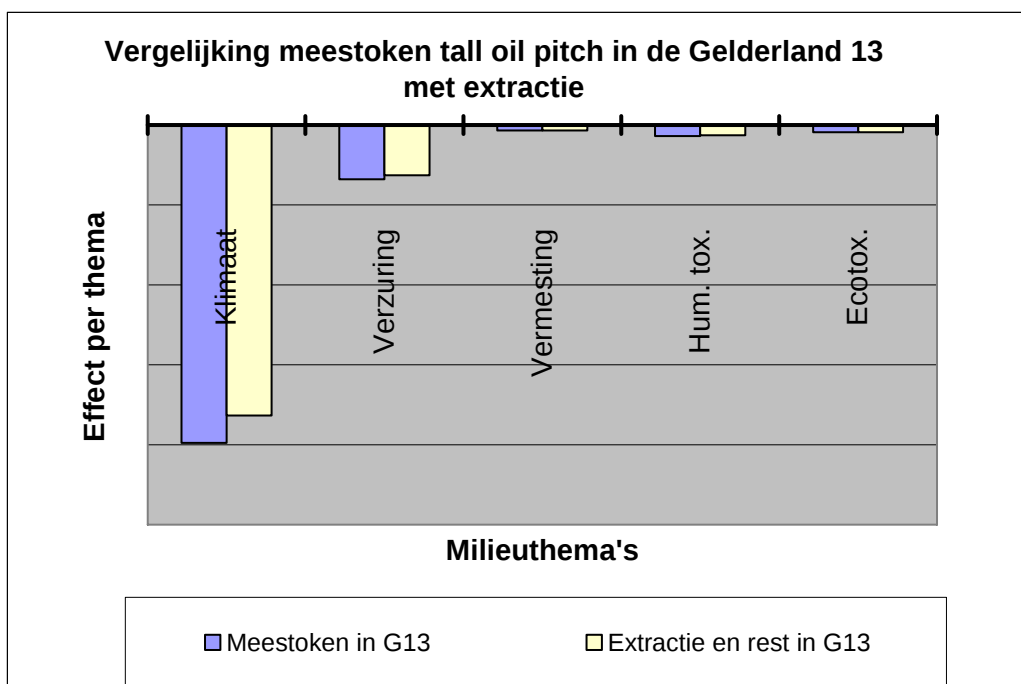
In Tabel 21 worden de milieueffecten van de alternatieve route met die van het meestoken in de Gelderland 13 vergeleken. Bij de emissies van de toepassing van tall oil pitch zijn de vermeden emissies van de extractie opgeteld.

Tabel 21 Vergelijking van emissies van inzet van de alternatieve brandstof tall oil pitch in de Gelderland 13 met de emissies van de alternatieve route (emissies per ton tall oil pitch)

Milieuthema	Klimaat-verandering GWP100	Verzuring	Vermesting	Humane toxiciteit	Ecotoxiciteit
Eenheid	Kg CO ₂ -eq.	Kg SO ₂ -eq.	Kg PO ₄ -eq.	Kg 1,4 Dichloorbenzeen-eq.	Kg 1,4 Dichloorbenzeen-eq.
Meestoken in G13	-3.976	-6,8	-0,7	-139,1	-0,9
Extractie van sterolen en meestoken overblijvende materiaal in G13	-3.636	-6,3	-0,7	-128,1	-0,9

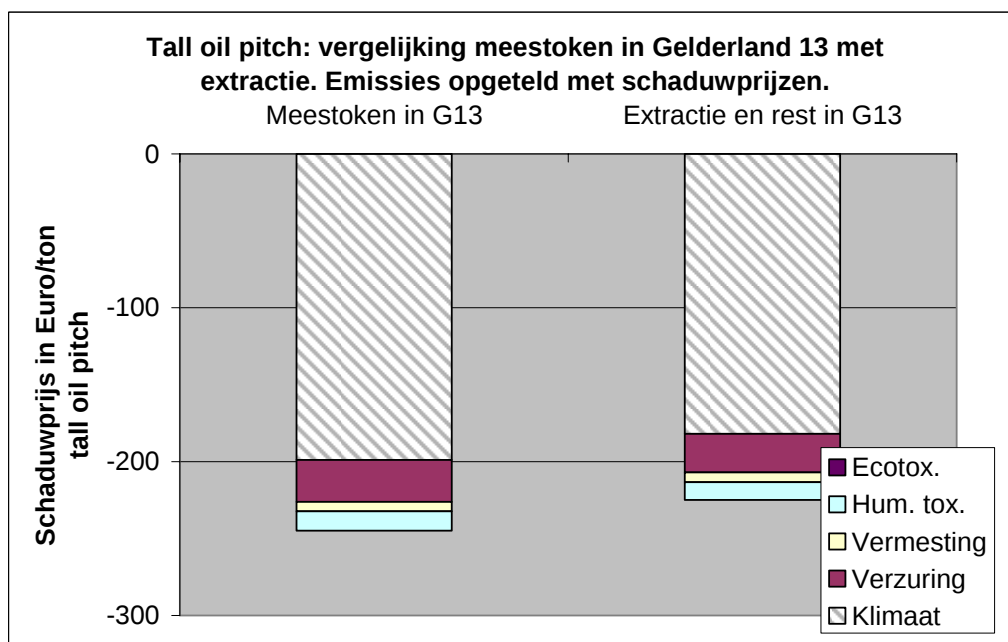
In Figuur 7 zijn deze resultaten grafisch weergegeven.

Figuur 7 Grafische weergave milieueffecten per thema van tall oil pitch¹⁰



In Figuur 8 zijn de thema's met schaduwpreizen bij elkaar opgeteld.

Figuur 8 Thema's met schaduwpreizen opgeteld



¹⁰ Om de score op de thema's verzuring, vermesting en ecotoxiciteit zichtbaar te maken t.o.v. broeikas effect zijn de scores van deze met 100 vermenigvuldigd.

Door inzet van het residu in de centrale na extractie van de sterolen, zijnde 8% van de tall oil pitch, liggen de milieueffecten van de extractie en de inzet van de tall oil pitch in de centrale dicht bij elkaar.

In paragraaf 6.2 werd reeds geconstateerd dat het meestoken van tall oil pitch resulteert in een verbetering van de lokale luchtkwaliteit rond de Gelderland 13.



7 Conclusies

7.1 Conclusies milieuanalysemethodiek

De ontwikkelde milieuanalysemethodiek is sterk gebaseerd op de LCA-methodiek conform ISO 14040. Door het aantal te beschouwen stoffen te beperken tot CO₂, CH₄, N₂O, SO₂, NO_x, NH₃, HCL, HF en PM₁₀ kan vlot een beeld worden verkregen van de milieueffecten van het meestoken van alternatieve brandstoffen en van alternatieve toepassingen ervan. Voldoende is het zich te beperken tot de milieuthema's: broeikaseffect, verzuring, vermesting, humane toxiciteit en ecotoxiciteit. Het thema reststoffen blijkt niet van belang, omdat reststoffen bij de beschouwde processen (vrijwel) niet voorkomen.

Verzamelen van gegevens blijkt een probleem wanneer relatief onbekende producten als tall oil pitch, waarvan verwerking bovendien als een vertrouwelijke activiteit wordt gezien, moet worden beschouwd. Het blijkt dan toch mogelijk om in hoofdlijnen een voldoende betrouwbaar beeld te geven van de milieueffecten van het meestoken en alternatieve toepassingen.

7.2 Conclusie dominante milieuthema's

De analyses voor de vier alternatieve brandstoffen leert dat het broeikaseffect gemeten met schaduw prijzen het belangrijkste thema is. Dit thema bepaalt voor ongeveer 80% of het inzetten van een alternatieve brandstof voor elektriciteit milieukundig voordelig is. Na het broeikaseffect is verzuring het belangrijkste thema. Dit thema bepaalt voor ongeveer 15% het totale milieueffect. Een versimpelde methodiek zou er uit kunnen bestaan als eerste stap de klimaateffecten en de verzurende effecten van een alternatieve brandstof te berekenen en daarna alleen bij twijfel de scores op de andere thema's te berekenen.

7.3 Conclusies voor de beschouwde vier alternatieve brandstoffen

Resthout

Het meestoken van resthout in de Gelderland 13 is duidelijk gunstiger dan het gebruik van resthout voor de productie van spaanplaat. Dit is toe te schrijven aan: 1. De productie van de lijn die voor de productie van spaanplaat wordt gebruikt, geeft hoge emissies: 2. Gipsplaat dat met spaanplaat concurreert, wordt met aanmerkelijk minder emissies geproduceerd dan spaanplaat.

Deze conclusie was in het rapport 'Een afweging van energetische benutting versus materiaalhergebruik van afvalhout' uit 1997 en in het rapport 'Spaanplaatproductie in Italië uit Nederlands afvalhout milieukundig beoordeeld' uit 1999 anders. Toen kwam de analyse uit op het vergelijkbaar zijn van de milieueffecten van energieopwekking en spaanplaatproductie. De toch wel radicale herziening van de conclusie is toe te schrijven aan het aanmerkelijk schoner worden van de productie van gipsplaat.

Frituurvet

Het meestoken van frituurvet in de Gelderland 13 is het meest gunstig: het vangt steenkool.

Palmolie vetzuren

Indien gewaarborgd wordt dat het gebruik van palmolie niet leidt tot de aanleg van nieuwe plantages dan kan de inzet palmolie vetzuren als alternatieve brandstof vergeleken te worden met de inzet ervan in de veevoederindustrie. Onder deze aanname geeft het meestoken van Palmolie vetzuren in de Gelderland 13 een lagere netto milieubelasting op alle beschouwde thema's dan inzet ervan in veevoeder.

Indien er wel kans is op een uitbreiding van het areaal aan plantages voor palmolie door toepassing van palmolie voor energie dan is afhankelijk van de precieze manier van teelt, de samenstelling van het eerdere bos etc, het effect op broeikas effect mogelijk en biodiversiteit wellicht negatief.

Wij bevelen aan over dit aspect in dialoog te gaan met NGO's en verder onderzoek uit te voeren.

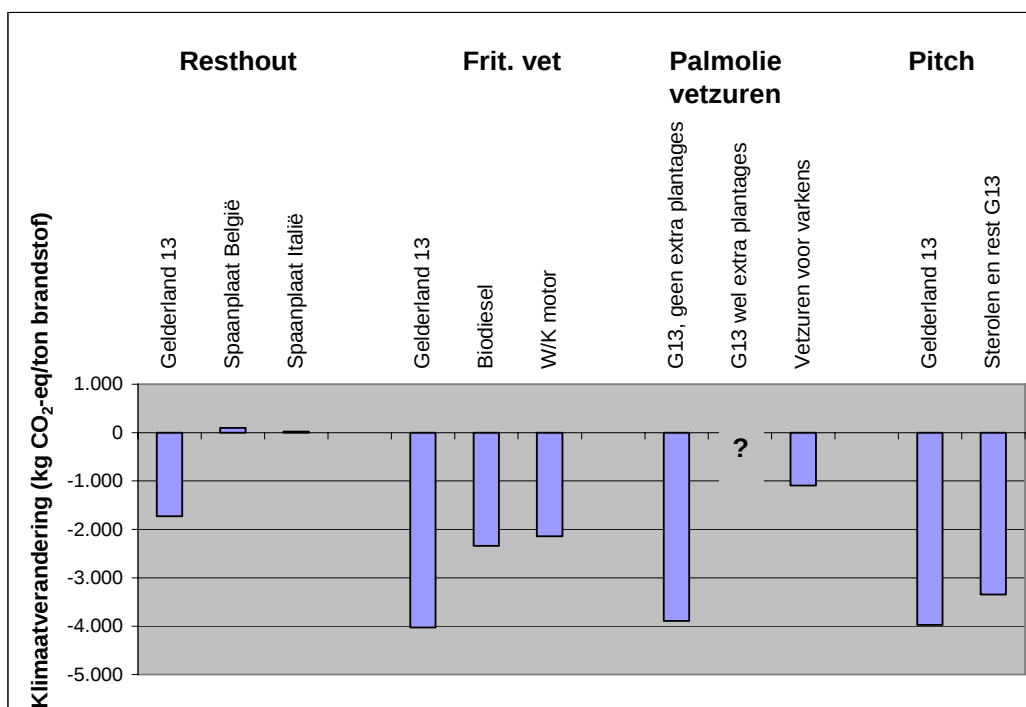
Tall oil pitch

De resultaten voor directe verbranding in de Gelderland 13 en die van verbranding in de Gelderland 13 na het onttrekken van sterolen (gebruikt voor de productie van cholesterol verlagende vetzuren) zijn vrijwel gelijk. Uit Maatschappelijke overwegingen heeft het voorkeur om de 8% sterolen in deze grondstof voor gebruik af te scheiden voor gebruik in voedsel.

7.4 Algemene conclusies

De analyse van de vier alternatieve brandstoffen geeft de volgende indicatieve conclusies. Het betreft indicatieve conclusies omdat het aantal beschouwde alternatieve brandstoffen beperkt is tot vier. In de volgende figuur worden de scores voor het broeikas effect van de vier alternatieve brandstoffen op de meestookroutes en de alternatieve toepassingen gegeven.

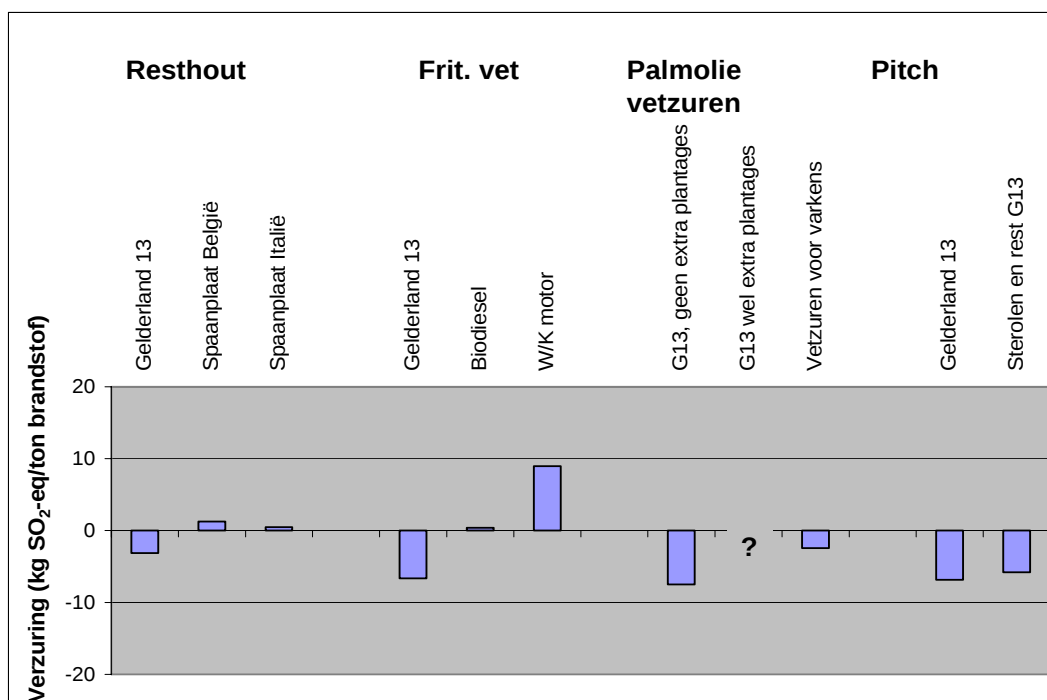
Figuur 9 Scores op broeikaseffect van de verschillende routes van de vier alternatieve brandstoffen



Uit Figuur 9 blijkt dat meestoken in de Gelderland 13 steeds het meest gunstig is. Een toepassing in de landbouw of veeteelt ligt qua milieueffect in dezelfde orde van grootte als de Gelderland 13. Indien door het meestoken van palmoile vetzuren extra plantages worden aangelegd is de uitkomst niet bekend omdat dit niet onderzocht is.

In Figuur 10 worden de scores voor verzuring van de vier alternatieve brandstoffen op de meestookroutes en de alternatieve toepassingen gegeven.

Figuur 10 Scores op verzuring van de verschillende routes van de vier alternatieve brandstoffen



Ook ten aanzien van verzuring scoort het meestoken in de Gelderland 13 het meest gunstig. Alleen toepassing van palmolie vetzuren in veevoeder scoort gunstiger dan meestoken in de Gelderland 13.

Overige conclusies:

- meestoken in de Gelderland 13 is steeds milieukundig het gunstigst behalve indien palmoliegebruik leidt tot extra plantages en aantasting van tropisch bos. Een toepassing in de landbouw of veeteelt ligt qua milieueffect in dezelfde orde van grootte als de Gelderland 13;
- meestoken van de beschouwde alternatieve brandstoffen in de Gelderland 13 resulteert steeds in een verbetering van de lokale luchtkwaliteit rond de centrale;
- brandstoffen die een alternatieve toepassing hebben in energieopwekking (zoals biodiesel), kunnen beter in de Gelderland 13 worden meegestookt. Dit omdat de milieueffecten van het meestoken in de Gelderland 13 lager zijn. Dit komt doordat in de Gelderland 13 er kolen uitgespaard worden en bij andere routes olie;
- effecten van het onttrekken van alternatieve brandstoffen aan de markt op de alternatieve toepassing van die brandstoffen zijn niet geheel te voorspellen. Dit betekent dat men voorzichtig moet zijn in het trekken van conclusies en dan met name wanneer het gaat om alternatieve brandstoffen waarvan de onttrekking aan de markt leidt of kan leiden tot de aanleg van nieuwe productielocaties ten koste van natuurterreinen.

In de uiteindelijke afweging door Electrabel om een alternatieve brandstof in een centrale te gaan inzetten spelen naast de milieueffecten natuurlijk ook economische en sociale afwegingen een rol.

7.5 Aanbevelingen

Het verdient het aanbeveling om over palmolie voor energie in dialoog te treden met NGO's in Nederland en in de landen van toelevering. Daarnaast is het aan te bevelen voor biomassa stromen uit ontwikkelingslanden met risico op ontbossingseffecten een duurzaamheidscertificeringssysteem op te zetten zoals bijvoorbeeld het FSC systeem voor hout.



Literatuurlijst

Damen K., A. Faaij, 2003

'A life Cycle Inventory of existing biomass import chains for 'green' electricity production'

RUU, Utrecht, January 2003

Yeoh, B.G., 2004

'Energy recovery from wastewater treatment'

Presentatie gegeven tijdens de Brunei Darussalam cogeneration week, 23 - 24 november 2004

Liwang, T., 2004

'Paper van Tony Liwang, ingebracht tijdens de 'Summer School Renewables 2004'

Colleges aan de Universiteit van Göttingen, 2004

Lundin, N.A., et al., 2003

'Biomass for electricity generation in Malaysia (Country report in het kader van het ICRA programma)'

Malaysia Energy Center, 2003

Suhaimi, M., H.K. Ong, 2001

'Composting empty fruit bunches of palm oil'

Mardi, Kuala Lumpur, 11 january 2001

Felda, Anonymus, 2003

'Felda Lepar Hilir Palm Oil Mill biogas project in Malaysia (Project Design Document version 2.1)'

Matsshita Electric Industrial Co./Ex corporation/Kyushu Institute for Technology, april 2003

Kittikun, A.H., et al.

'Environmental management for palm oil mill'

Prince of Songkla University, Hat Yai, Thailand

Parkhomenko, Sergiy, 2004

'International competitiveness of soybean, rapeseed and palm oil production in major producing regions'

Landbauforschung Völknerode FAL agricultural research, 2004

Widmann, et al., 2002

'Leitfaden Pflanzenölbetriebene Blockheizkraftwerke'

Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, München, april 2002

Anonymus, 2001

BHKW-Kenndaten 2001

'Arbeitsgemeinschaft für Sparsamen und Umweltfreundlichen Energieverbrauch',
Kaiserslautern, 2001

Thuneke, K., B. Widmann, 2002

'Operation and emission characteristics of CHP units, fuelled with rapeseed oil'

Bijdrage aan Proceedings 12th European Conference and Technology Exhibition
on biomass for energy, industry and climate protection, Amsterdam 2002

EFSA, 2003

'Opinion of the Scientific Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies on a request from the Commission related to a Novel Food application from Forbes Medi-Tech for approval of plant sterol-containing milk-based beverages'

The EFSA Journal 15, 1-12, 2003

Anonymus, 2003

'Opinion of the scientific committee on food on an application from ADM for approval of plant sterol-enriched foods'

EU, Brussels, 7 april 2003

Hollingsworth, P., 2001

'Margarine: the over-the-top functional food'

Foodtechnology 1, 59 - 62, 2001

EWAB, 2000

'Marsroute van biomassa en afval'

EWAB, 2000

Bergsma, G.C., 1997

'Een afweging van energetische benutting versus materiaalhergebruik van afvalhout'

CE, Delft, 1997

Bergsma, G.C., 1999

'Spaanplaatproductie in Italië uit Nederlands afvalhout milieukundig beoordeeld'

CE, Delft, 1999

Vroonhof, J.T.W. ir., drs. H.J. Croezen, ir. G.J. de Weerd, 1997

'Scheiding van Bouwafval'

Delft, juni 1997, VROM

**Essen, H.P. (Huib) van, O. (Olivier) Bello, J.M.W. (Jos) Dings (allen CE),
R. (Robert) van den Brink (RIVM), 2003**

'To shift or not to shift, that's the question'

'The environmental performance of freight and passenger transport modes in the light of policy making'

CE, Delft, 2003

Internetsites

Holmes, Val

'Plant sterol esters/sterols may reduce the risk of heart disease'

Veirs research information services

http://www.cognis.com/veris/FactSheets/STEROLS_Factsheet.pdf

Anonymus

'IFST updated Information Statement on Phytosterol Esters (Plant Sterol and Stanol Esters)'

Institute of Food Science & Technology, january 2005

http://www.innovations-report.com/print/print_en01.php3?id=39214&ctyp=1



CE

**Oplossingen voor
milieu, economie
en technologie**

Oude Delft 180

2611 HH Delft

tel: 015 2 150 150

fax: 015 2 150 151

e-mail: ce@ce.nl

website: www.ce.nl

Besloten Vennootschap

KvK 27251086

Milieuevaluatie van inzet alternatieve (bio-)brand- stoffen in de Gelderland 13 energiecentrale

Bijlagen

Rapport

Delft, augustus 2005

Opgesteld door: J.T.W. (Jan) Vroonhof
H.J. (Harry) Croezen
G.C. (Geert) Bergsma





A Gebruikte karakterisatiefactoren, schaduw prijzen en schadekosten

In de milieuanalyses wordt conform de LCA-methodiek gebruik gemaakt van karakterisatiefactoren. Dit zijn getallen die aangeven wat de bijdrage van een bepaalde stof is aan een milieuthema ten opzichte van een referentiestof. Deze karakterisatiefactoren zijn ontleend aan 'Handbook of Life Cycle Assessment' 2002.

Tabel 22 Gebruikte karakterisatiefactoren

	Broeikaseffect	Verzuring	Vermesting	Humane toxiciteit	Eco-toxiciteit
CO ₂	1				
CH ₄	23				
N ₂ O	296				
SO ₂		1,2		0,096	
NO _x		0,5	0,13	1,2	
NH ₃		1,6	0,35	0,1	
HCl				0,5	
HF				2.900	4,64
PM ₁₀				0,82	0,82

De gebruikte schaduw prijzen zijn ontleend aan (CE, 2002) en (Harmelink, 2004).

Tabel 23 Gebruikte schaduw prijzen

Milieuthema	Equivalent eenheid	Schaduw prijs € / kg equivalent eenheid	Bron
Broeikas effect 100 GWP	CO ₂	0,05	(CE, 2002)
Verzuring	SO ₂	4	(CE, 2002)
Vermesting	PO ₄	9	(CE, 2002)
Humane toxiciteit	1,4 DCB	0,09	(TNO, 2004)
Ecotoxiciteit (zoetwater)	1,4 DCB	0,03	(TNO, 2004)

De gebruikte schadekosten zijn ontleend aan (VU, 1997).

Tabel 24 Gebruikte schadekosten

Stof	Schadekosten € / kg	Bron
NO _x	7,0	(VU, 1997)
SO ₂	7,6	(VU, 1997)
PM ₁₀	16,6	(VU, 1997)



B Alternatieve route resthout

B.1 Keuze alternatieve route

Het voor dit onderzoek relevante resthout bestaat uit:

- A-hout: Dit is schoon en onbehandeld resthout;
- B-hout: Dit is geveerd, gelakt of verlijmd resthout.

A-hout en B-hout kunnen nuttig worden toegepast in de houtvezelindustrie en de spaanplaatindustrie en als brandstof.

De stookwaarde van dit resthout is 18,8 MJ/kg d.s. (EWAB marsroute, beschikbaarheid van biomassa en afval, 2000). Het vochtgehalte is gemiddeld 10%. De samenstelling op droge basis (EWAB, 2000) is in Tabel 25 opgenomen.

Tabel 25 Samenstelling resthout

	Gemiddeld gew.% d.s.	Range gew.% d.s.
C	48,3	
H	5,7	
O	38,4	
N	1,0	0,14 - 5,6
S	0,10	0,01 - 0,58
Cl	0,12	0,01 - 0,98
F	0,00	0,00 - 0,02
As-gehalte	6,5	

A-hout en B-hout worden toegepast in de spaanplaatindustrie in Duitsland, België en Italië, in de productie van pallets (euro-pallets) in Nederland en als energiebron in energiecentrales. De hoeveelheid A-hout plus B-hout die in Nederland gescheiden vrijkomt is grofweg 500 kton. Dit is gebaseerd op de eerder genoemde EWAB-studie. Dit zijn echter verouderde data. Momenteel loopt er een studie bij SenterNovem die recentere data zal geven. Van de vrijkomende hoeveelheid wordt volgens dhr. Van Kuyk van de Houtbank 120 kton ingezet in de Nederlandse palletproductie industrie. Twee à driemaal zoveel wordt ingezet in de spaanplaatindustrie. Volgens Van Kuyk is de markt voor palletproductie een erg constante markt; concurrentie vindt eigenlijk alleen plaats tussen energietoepassing en spaanplaatproductie. Bij meer toepassing als energiebron zal naar verwachting allereerst de export van resthout naar Italië afnemen en pas daarna die naar België en Duitsland. Dit is toe te schrijven aan de hogere transportkosten naar Italië.

Als alternatieve toepassing wordt uitgegaan van spaanplaatproductie, waarbij zowel de productie in Italië als in België/Duitsland wordt beschouwd. Ervan uitgegaan wordt dat spaanplaat concurreert met gipsplaat, dus bij minder spaanplaatproductie wordt meer gipsplaat geproduceerd. Dit is conform de eerdere

studies 'Een afweging van energetische benutting versus materiaalhergebruik van afvalhout' (CE, 1997) en 'Spaanplaatproductie in Italië uit Nederlands afvalhout milieukundig beoordeeld' (CE, 1999).

De redenatie voor deze concurrentie is als volgt:

Om te bepalen waarmee spaanplaat concurreert, is nagegaan wat de markt is van spaanplaat. De markt voor de in de EU geproduceerde spaanplaat met een totaal volume van 31,9 miljoen m³ in 2003 is als volgt (informatie van European Panel Federation, april 2005):

- 41% meubelindustrie
- 23% bouw
- 9% keukens en badkamers
- 6% doe-het-zelf
- 4% office
- 4% vloeren
- 6% export buiten EU
- 6% overige

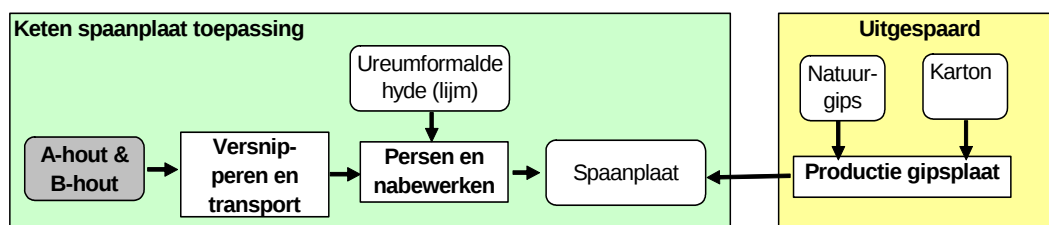
De markt voor meubels, keukens, office gezamenlijk is 54%, maar voor deze toepassing is het aantal alternatieve materialen beperkt en tevens hebben deze producten een hoge toegevoegde waarde, aanmerkelijk hoger dan de toepassing in de bouw. Dit betekent dat de kosten van de grondstoffen (zijnde resthout) in verhouding laag zijn tot de waarde van het product, waardoor de prijs van de grondstof (vrijwel) geen belemmering zal zijn om deze aan te kopen.

Wanneer resthout aan de markt wordt onttrokken voor energietoepassing zal de concurrentie dan ook voornamelijk plaatsvinden met de toepassing in de bouw en van de export. Volgens www.bouwvadecum.nl/html/body_plaatmaterialen.html is een belangrijke toepassing van spaanplaat in de bouw wandbekleding en plafonds. Voor gipsplaat zijn dit eveneens belangrijke toepassingen. Het voorgaande leidt tot de conclusie dat bij onttrekking van spaanplaat aan de markt dit naar verwachting vooral ten koste zal gaan van de toepassing als wandbekleding waarbij het vervangen wordt door gipsplaat.

B.2 Systeembeschrijving

De verschillende processen in de keten 'hout - spaanplaat' en het uitgespaarde gipsplaat zijn weergegeven in Figuur 11.

Figuur 11 Keten 'houtspaanplaat' en uitgespaarde gipsplaat



In Figuur 11 zijn in het linker blok de processen weergegeven in de keten 'houtspaanplaat' waarbij emissies optreden. In het rechtse blok is (minder gedetailleerd) het proces weergegeven waarvan emissies worden uitgespaard: de productie van gipsplaat.

De belangrijkste processen waarbij emissies optreden in de keten 'houtspaanplaat' (groene blok) zijn:

- versnipperen hout;
- transport hout;
- productie van toegevoegde lijm;
- persen en nabewerken hout.

Van deze processen zijn de transportafstand en de hoeveelheid toegevoegde lijm afhankelijk van de locatie waar spaanplaat wordt geproduceerd. Daarom is het milieuprofiel vastgesteld voor productie in de twee verschillende landen, te weten België en Italië. In België wordt gemiddeld 300 kg lijm per ton spaanplaat ingezet, in Italië wordt gemiddeld 100 kg/ton spaanplaat toegepast. Dit verschil hangt samen met het gegeven dat in Italië massief resthout wordt ingezet, terwijl in Italië spaanplaat wordt herverwerkt. Doordat in het versnipperde spaanplaat al lijm aanwezig is hoeft minder te worden toegevoegd.

Door de productie van spaanplaat wordt gipsplaat uitgespaard. De hoeveelheid uitgespaarde emissies, verminderd met de emissies in de keten 'houtspaanplaat', bepaalt de totale milieuwinst (of milieuverlies) van het systeem. Deze milieuwinst wordt in de volgende paragrafen afgeleid.

B.3 Emissies spaanplaatproductie

Van de verschillende processtappen worden successievelijk de emissies gegeven.

Versnipperen hout

Elektriciteitsverbruik chippen/versnipperen = 22 MJ_e/ton resthout (VROM, 1997). Per ton geproduceerd spaanplaat in België wordt 700 kg gedroogd hout gebruikt en 300 kg lijm. Bij productie in Italië wordt 900 kg gedroogd hout gebruikt en 100 kg lijm (CE, 1999). Bij het drogen daalt de massa van het hout met 20%. Dit betekent dat respectievelijk in Italië en België $700/0,8 = 875$ kg en $900/0,8 = 1,125$ kg hout wordt versnipperd.

Het totale elektriciteitsverbruik in België en Italië is daarom respectievelijk $22 \text{ MJ/ton} \cdot 0,875 \text{ ton} = 19,25 \text{ MJ}$ en $22 \text{ MJ/kg} \cdot 1,125 \text{ ton} = 24,75 \text{ MJ}$.

Deze waarden zijn vermenigvuldigd met de emissies die samenhangen met elektriciteitsverbruik. Het resultaat staat in Tabel 33.

Tabel 26 Emissies die vrijkomen bij het versnipperen van hout voor de productie van 1 ton spaanplaat

Emissies totaal (kg)	België	Italië
CO ₂	1,93	2,48
CH ₄	0,00024	0,00031
SO ₂	0,0055	0,0071
NO _x	0,00235	0,0030
PM ₁₀	0,00022	0,00028

Transport

Voor de productie van spaanplaat in België is 875 kg resthout met vochtpercentage 20% per ton spaanplaat benodigd. Bij de productie wordt voorts nog 300 kg lijm per ton spaanplaat toegevoegd. De transportafstand is ca. 150 km.

Tabel 27 Emissies transport naar België

Gewicht (kg)	Afstand (km)	Totaal tkm
875	150	131,25
	Emissies (g/tkm)	Emissies totaal (kg per ton spaanplaat)
CO ₂	61,3	8,05
SO ₂	0,0168	0,0022
NO _x	0,748	0,098
CO	0,118	0,015
Fijn stof	0,0252	0,0033

(CE, 1999)

Het transport naar Italië gaat per trein. Aangenomen is dat 75% van het treintransport naar Italië elektrisch is en 25% op diesel (CE, 1999). Emissiecijfers voor elektriciteitsverbruik en dieselverbruik zijn afkomstig uit (CE, 2003). Voor de productie van een ton spaanplaat in Italië is 1.125 kg resthout met vochtpercentage 20% benodigd. In Italië wordt 100 kg lijm per ton spaanplaat toegevoegd. De transportafstand is circa 1.130 km. Voor elektrisch transport is 0,32 MJ per tkm benodigd; voor dieseltransport is 0,37MJ per tkm benodigd. Voor het elektrisch transport van de spaanplaat is $0,75 * 0,32 \text{ MJ/tkm} * 1.271 \text{ tkm} = 305 \text{ MJ}$ benodigd; en voor het dieseltransport is in totaal $0,25 * 0,37 \text{ MJ/tkm} * 1.271 \text{ tkm} = 118 \text{ MJ}$.

Dit energieverbruik vermenigvuldigd met de emissies per MJ levert het resultaat in Tabel 35 op: (cijfers gebaseerd op (CE, 1999) en (CE, 2003)).

Tabel 28 Emissies transport naar Italië

	Elektrische trein (kg)	Dieseltrein (kg)	Totaal (kg/ton spaanplaat)
CO ₂	30,5	8,62	39,1
CH ₄	0,0038		
SO ₂	0,0876	0,0094	0,097
NO _x	0,0372	0,14	0,177
CO		0,014	0,014
Fijn stof	0,00345	0,0059	0,0093
VOS		0,0094	0,0094

(CE, 1999)

Drogen (inclusief lijmen en persen)

Voor het energiegebruik voor het drogen van 1 m³ versnipperd resthout worden in (Eco-Invent, 2003) de volgende gebruiken van energiedragers gegeven.

Tabel 29 Energieverbruik drogen

	Energiegebruik
Gas (MJ)	154
Lichte olie (MJ)	86,1
Zware olie (MJ)	86,1
Elektriciteit (MJ)	374

(Eco-Invent, 2003)

Om het verbruik toe te rekenen naar kg input van hout (in plaats van m³) is de dichtheid van spaanplaat genomen van 0,68 ton/m³. Deze waarde is afkomstig van (Eco-Invent, 2003). Daarbij wordt aangenomen dat de dichtheid van hout en spaanplaat gelijk is.

Om het energieverbruik van het drogen per ton spaanplaatproductie te berekenen zijn bovenstaande waarden vermenigvuldigd met (1,04 m³ * 680 kg/m³) * (875 kg/702 kg) in België en (1,04 m³ * 680 kg/m³) * (1.125 kg/702 kg) in Italië. Het totale energieverbruik is vermenigvuldigd met de emissiefactoren behorend bij het energiegebruik van de energiedragers. Het resultaat is weergegeven in Tabel 37.

Tabel 30 Emissies (kg) bij drogen, lijmen en persen voor de productie van 1 ton spaanplaat in Italië en België

	Drogen, lijmen en persen in België	Drogen, lijmen en persen in Italië
CO ₂	73,7	94,8
CH ₄	0,00115	0,0015
N ₂ O	0,00024	0,00030
SO ₂	0,040	0,062
NO _x	0,022	0,028
CO	0,0041	0,0052
PM ₁₀	0,0043	0,0056

Input lijn

De emissies samenhangend met de productie van ureumformaldehyde zijn in Tabel 31 gepresenteerd (Eco-Invent, 2003).

Tabel 31 Emissies samenhangend met de productie van ureumformaldehyde (emissies in kg per kg geproduceerde ureumformaldehyde)

	Productie ureumformaldehyde	Input ureum	Input formaldehyde	Totaal
CO ₂	0,224	0,334	0,080	0,638
CH ₄	1,86E-05	4,99E-04	3,31E-06	5,21E-04
N ₂ O	1,92E-06			1,92E-06
SO ₂	7,18E-04	1,95E-04	7,59E-05	9,89E-04
NO _x	3,01E-04	2,25E-04	2,18E-04	7,44E-04
CO	1,21E-04	1,76E-03	4,90E-05	1,93E-03
PM ₁₀	7,05E-05	1,20E-03	5,44E-06	1,28E-03
Ammonia		2,05E-03		2,05E-03
Ammonium		2,15E-04		2,15E-04
Formaldehyde	1,00E-03		1,23E-05	1,01E-03
Methanol			1,52E-05	1,52E-05
NMVOC			1,47E-06	1,47E-06

De CO₂-emissie van de productie van ureumformaldehyde is hoog: 0,638 kg per kg ureumformaldehyde. De emissies hangen samen met het gegeven dat de productie van de grondstoffen van formaldehyde en ureum - respectievelijk methanol en ammoniak - energie-intensieve processen zijn met een hoog gebruik aan aardgas voor ondervuring.

Totaal

De emissies voor de keten 'houtspaanklaar' van de productie in België zijn weergegeven in Tabel 32.

Tabel 32 Emissies voor de keten 'houtspaanklaar' bij productie in België (in kg per ton geproduceerde spaanklaar)

	Versnipperen	Transport	Drogen (incl. lijmen en persen)	Input lijn	Totaal
CO ₂	1,9	8,05	73,7	192	275
CH ₄	0,00024		0,00115	0,156	0,158
N ₂ O			0,00024	0,00058	0,00081
SO ₂	0,0055	0,0022	0,048	0,297	0,35
NO _x	0,00235	0,098	0,022	0,223	0,35
CO		0,015	0,0041	0,58	0,60
PM ₁₀	0,00022	0,0033	0,0043	0,38	0,39
NH ₃				0,62	0,62

De emissies voor de keten 'houtspaanklaar' bij productie in Italië zijn weergegeven in Tabel 33.

Tabel 33 Emissies voor de keten 'houtspaanplaat' bij productie in Italië (in kg per ton geproduceerde spaanplaat)

	Versnipperen	Transport	Drogen (incl. lijmen en persen)	Input lijm	Totaal
CO ₂	2,48	39,1	94,8	63,8	200
CH ₄	0,00031		0,0015	0,052	0,054
N ₂ O			0,00030	0,00019	0,00050
SO ₂	0,0071	0,0097	0,062	0,099	0,265
NO _x	0,0030	0,177	0,028	0,0744	0,283
CO		0,0141	0,0052	0,19	0,21
PM ₁₀	0,00028	0,0093	0,0056	0,13	0,14
NH ₃				0,205	0,205

B.4 Emissies uitgespaard gipsplaat

Per kilogram spaanplaat wordt 2,1 kilogram gipsplaat uitgespaard (CE, 1997).

De emissies voor gipsplaat productie zijn berekend uitgaande van een aardgasinzet van 0,9 GJ/ton gipsplaat voor drogen. Het gehanteerde aardgasverbruik heeft betrekking op het drogen van dihydraat naar hemi-hydraat gips. Het energieverbruik is overgenomen uit de Eco-Invent database en is bevestigd door de Needis rapportage voor de bouwmaterialen sector.

De emissies van 2,1 ton uitgespaard gipsplaat zijn weergegeven in Tabel 34.

Tabel 34 Emissies van 2,1 ton uitgespaard gipsplaat

Emissies	Transport (inclusief productie grondstof)	Productie gipsplaat	Totaal
CO ₂	75,6	0,0106	0,018
CH ₄	0,0095		0,0095
SO ₂	0,217		0,217
NO _x	0,092	0,030	0,122
CO		0,015	
Fijn stof	0,0085		0,0085

In eerdere door CE uitgevoerde studies (bijvoorbeeld (CE, 1997)) is voor drogen van gips van dihydraat naar demi hydraat uitgegaan van een specifiek aardgasgebruik van 3,8 MJ/kg. De destijds afkomstige waarde was overgenomen uit: rapport (IVAM, 1993)¹¹.

¹¹ Betreft de publicatie J.G.M. Kortman en R.G. Lim, Minimalisering van de milieubelasting van niet dragende binnenwanden in de woningbouw, IVAM, Amsterdam, 1993.



C Alternatieve routes frituurvet

C.1 Keuze voor alternatieve routes

Voor frituurvet zijn twee alternatieve routes beschouwd:

- inzet van voorbewerkt frituurvet in een W/K-dieselmotor;
- opwerken van voorbewerkt frituurvet tot biodiesel.

Beide routes vormen de meest waarschijnlijke alternatieven voor frituurvet in Duitsland en Oostenrijk en zouden daarom ook een reëel alternatief kunnen zijn voor in Nederland vrijkomend frituurvet.

Beide routes worden hieronder behandeld. Zoals gebruikelijk bij een LCA wordt eerst het systeem in kaart gebracht waarna massabalans en milieubelasting worden bepaald.

C.2 Inzet in een W/K-dieselmotor

Één mogelijkheid voor inzet van opgewerkt frituurvet is als gezegd inzet in een W/K-dieselmotor. Voorbeelden van praktijkinstallaties zijn¹²:

- het systeem in de Priener Hütte;
- een motor bij een vleeswaren producent in Bonndorf im Schwarzwald;
- twee motoren bij een vleeswaren producent in Feldthurns Oostenrijk;
- een motor bij een afvalverwerker in Langenbach im Westerwald.

Een dergelijk systeem met W/K-dieselmotor is al eerder onderzocht door CE. Vergelijking met de indertijd gehanteerde literatuurbronnen en nieuwe bronnen laat zien dat de indertijd gegenereerde resultaten grotendeels nog steeds representatief zijn.

C.2.1 Beschrijving systeem

Voor de analyse is uitgegaan van een grootschalige motor met de volgende specificaties:

- een complete rookgasreiniging bestaande uit roetfilter, SCR en oxykat;
- een thermisch rendement van 40% en een elektrisch rendement van 42%.

Ter vergelijking van de haalbare restconcentraties en BEES worden hieronder enkele kentallen gegeven:

- stof restconcentraties bedragen bij motoren met een roetfilter 2 - 5 mg/Nm³ (5 vol% O₂);
- de emissie van koolwaterstoffen bedraagt bij motoren met een oxykat 2 - 15 mg/Nm³ (5 vol% O₂);
- de restconcentraties van CO variëren van circa 30 mg/Nm³ tot circa 180 mg/Nm³ (5 vol% O₂);

¹² Zie voor voorbeelden o.a. <http://www.carmen-ev.de/dt/energie/beispielprojekte/Prienerhuetten.pdf>; <http://www.biosphaerenreservat-rhoen.de/news/Blockheizkraftwerk.pdf>; <http://enius.de/presse/710.html>.

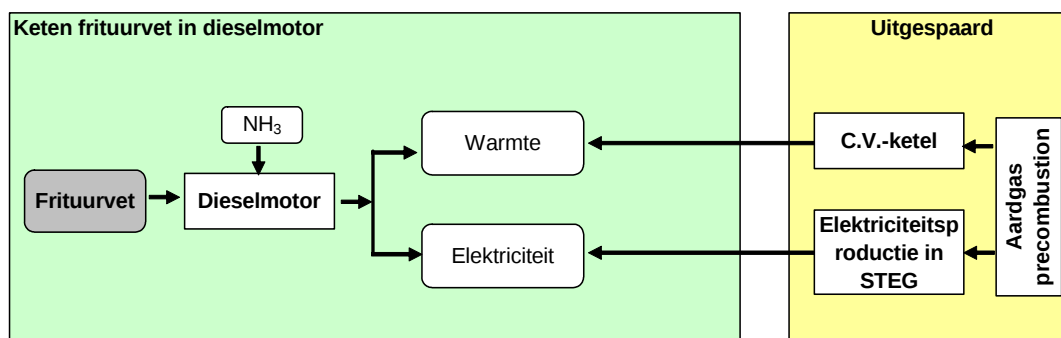
- voor NO_x worden voor motoren met een SCR garantiewaarden genoemd van 250 mg/Nm³ (5 vol% O₂);
- met een elektrisch en thermisch rendement van respectievelijk 40% en 45%. De gehanteerde rendementen hebben betrekking op dieselmotoren in de range van 0,75 - 10 MW_e. Een overzicht van de selectie is te vinden paragraaf C.2.2.

Voor het bepalen van het netto milieueffect van de inzet van opgewerkt frituurvet in een W/K-dieselmotor is conform de Uitvoeringsregeling van het CO₂-reductieplan aangenomen dat:

- afzet van de door de motor geproduceerde elektriciteit leidt tot uitsparing van elektriciteit middels een gasgestookte STEG met een rendement van 54%;
- afzet van de door de motor geproduceerde warmte leidt tot uitsparing van warmteopwekking middels een gasgestookte Cv-ketel met een rendement van 99%.

Figuur 12 geeft grafisch aan wat de afbakening van het beschouwde systeem is.

Figuur 12 Schematische weergave W/K-dieselroute



C.2.2 Specificaties van W/K-dieselmotoren

Hieronder staat een selectie van relevante motoren voor de toepassing van brandstof uit verwerkt frituurvet.

Tabel 35 Selectie van motoren op frituurvetbrandstof

Firma	Pel	Pth	Pbrandstof	rendementen			eff. Druk	NO ₂ mg/Nm ³	CO ₂ mg/Nm ³	stof mg/Nm ³
				el %	th %	ges %				
KWS	185	213	474	39	45	84	8,99	300	325	20
KWS	250	280	630	40	44	84	12,5	300	325	20
KWS	315	355	798	39	44	84	11,99	300	325	20
KWS	500	560	1241	40	45	85	12,5	300	325	20
KWS	630	704	1583	40	44	84	11,99	300	325	20
KWS	1020	1018	2377	43	43	86	17,9	300	325	20
KWS	1260	1314	2986	42	44	86	16,6	300	325	20
KWS	1350	1363	3169	43	43	86	17,9	300	325	20
KWS	1680	1781	4048	42	44	85	16,6	300	325	20
B+V Ind.	5140	4750	12165	42	39	81	18,3	250	325	25
B+V Ind.	5590	5000	13210	42	38	80	19,9	250	325	25
B+V Ind.	5990	5535	14000	43	40	82	18,3	250	325	25
B+V Ind.	6520	6150	15480	42	40	82	19,9	250	325	25
B+V Ind.	6850	6325	16000	43	40	82	18,3	250	325	25
B+V Ind.	7450	7025	17690	42	40	82	19,9	250	325	25
B+V Ind.	7700	7120	18250	42	39	81	18,3	250	325	25
B+V Ind.	8380	7500	19815	42	38	80	19,9	250	325	25
gemiddeld				42	42			276	325	22

Er wordt voor de berekeningen uitgegaan van een gemiddelde motor met een elektrisch rendement van 42% en een thermisch rendement van 20%. Een motor kan in principe een thermisch rendement van 40% halen wanneer zowel de door de koelvloeistoffen afgevoerde laagwaardige warmte als de warmte van de rookgassen wordt benut. Beide recupereerbare warmtestromen zijn ongeveer even groot: 20% van de energie-inhoud van de brandstof. In deze studie is aangenomen dat - zoals in de praktijk vaak het geval is - de laagwaardige warmte niet nuttig kan worden toegepast.

C.2.3 Berekeningswijze emissies bij toepassing frituurvet in motoren

De emissies bij inzet van opgewerkt frituurvet in W/K-motoren zijn berekend op basis van praktijkcijfers voor restconcentraties in de rookgassen. De concentraties zijn gegeven per Nm³ voor droog rookgas met een restconcentratie aan zuurstof van 5 vol%.

In de eerste stap van de berekening is op basis van de chemische samenstelling het droge rookgasvolume per kg frituurvet bepaald.

Tabel 36 Bepaling rookgasvolume per kg frituurvet

Samenstelling frituurvet		Samenstelling	mol/kg	Nm ³ /kg
Verbrandingswaarde	MJ/kg	39		
Verbrandingswaarde	Kcal/kg	9315		
Dichtheid	kg/m ³	930		
Vetzuur	%	13,38%		
As	Gew.-%	0,66%		
Water	Gew.-%	1,00%		
Koolstof	Gew.-%	76,00%	0,06	
Waterstof	Gew.-%	12,00%	0,12	
Zuurstof	Gew.-%	11,00%	0,01	
Zwavel	Gew.-%	0,28%		

		Samenstelling	mol/kg	Nm ³ /kg
Zuurstofvraag (kg/kg vet)				
- in mol/kg vet			0,2	
- in kg/kg vet		2,9		

		Samenstelling	mol/kg	Nm ³ /kg
Verbrandingsproducten				
- CO ₂		2,8	0,1	1,4
- H ₂ O		1,1	0,1	1,3
- N ₂		18,9	0,7	15,2
				17,9

In de tweede stap is middels de relatie:

$$\frac{21\% \times V_2}{V_1 + V_2} = 5\%$$

Berekend is hoeveel extra lucht aan het droge rookgasvolume (16,6 Nm³/kg frituurvet) moet worden toegevoegd om een mengsel O₂-concentratie van 5 vol% te verkrijgen:

Tabel 37 Berekening benodigde hoeveelheid extra lucht

Zuurstof in droog rookgas	5%	
Droog rookgas	16,6	Nm ³ /kg frituurvet
Extra lucht	5,2	Nm ³ /kg frituurvet
	21,7	Nm ³ /kg frituurvet

Vermenigvuldigen van het resulterende volume met de opgegeven restconcentraties geeft de resulterende emissies per kg frituurvet.

C.2.4 Milieueffecten

Tabel 38 geeft een vergelijking van de netto emissies gerelateerd aan inzet van frituurvet in een dieselmotor. Er is aangenomen dat alle zwavel in het frituurvet wordt omgezet in SO₂.

Tabel 38 Netto emissies per kg frituurvet bij inzet in een W/K-dieselmotor

	Dieselmotor kg/kg frituurvet	Elektriciteit STEG (mg/kg frituurvet)		Warmte CV ketel		Netto
		in g/MJ aardgas	in kg/kg frituurvet	in g/MJ aardgas	in kg/kg frituurvet	
CO ₂		56,0	1,7	56,0	0,9	-2,6
SO ₂	5,6E-03	8,2E-07	2,5E-05			5,6E-03
NO _x	5,4E-03	2,6E-05	8,0E-04	1,6E-05	2,5E-04	4,4E-03
CO	1,6E-03					1,6E-03
PM ₁₀	7,6E-05					7,6E-05
Elektrisch rendement	42,00%	54%				
Thermisch rendement	20,00%			99%		
Stookwaarde of uitge- spaarde aardgasinzet (MJ/kg frituurvet)	39,0		30,3		7,9	

De resulterende bijdragen aan de beschouwde milieuthema's is in Tabel 39 gegeven.

Inzetten van frituurvet in een W/K-dieselmotor leidt tot een netto reductie van broeikasgas emissies, maar door de hogere NO_x-emissies per eenheid brandstof is de bijdrage aan de andere milieuthema's netto ongunstiger dan bij opwekking van elektriciteit en warmte op basis van aardgas.

Tabel 39 Themabijdragen per ton frituurvet bij inzetten in W/K/-dieselmotor

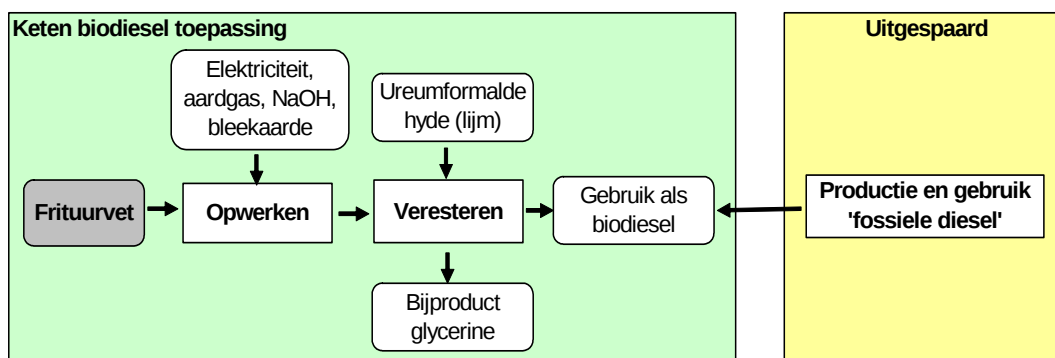
Milieuthema	Klimaat- verandering GWP100	Verzuring	Vermesting	Humane toxiciteit	Ecotoxiciteit
Eenheid	Kg CO ₂ -eq.	Kg SO ₂ -eq.	Kg PO ₄ -eq.	Kg 1,4 dichloor- benzeen-eq.	Kg 1,4 dichloor- benzeen-eq.
CO ₂	-2.140				
SO ₂		6,7		0,5	0,3
NO _x		2,2	0,6	5,3	0,12
CO					0,04
PM ₁₀				0,06	
Totale bijdrage	-2.140	8,9	0,6	5,9	0,4

C.3 Verwerking tot biodiesel

C.3.1 Beschrijving systeem

De verschillende processen in het systeem 'frituurvet - biodiesel', samen met de uitgespaarde diesel, zijn weergegeven in Figuur 13.

Figuur 13 Keten 'frituurvet biodiesel' en uitgespaarde diesel door keten



In Figuur 13 zijn in het linker blok de processen in de keten weergegeven waarbij emissies optreden; de productie en verbruik van biodiesel. In het rechtse blok is (minder gedetailleerd) het proces weergegeven waarvan emissies worden uitgespaard; de productie en het verbruik van diesel. Onderstaande processen worden hieronder besproken.

De belangrijkste processen waarbij emissies optreden in de keten 'frituurvet - biodiesel' zijn:

- 1 Opwerking.
- 2 Verestering.
- 3 Verbruik biodiesel.

De opwerking van frituurvet voor biodiesel laten we buiten beschouwing. Dit proces moet zowel gebeuren voor de productie van biodiesel als de productie van biobrandstof. Hierdoor heeft het proces van opwerking geen invloed op de verschillen in emissies tussen de ketens.

Het tweede belangrijke proces is verestering. In dit proces wordt opgewerkt frituurvet omgezet in biodiesel en glycerine. In het proces worden methanol en kaliumhydroxide als input ingezet. In Tabel 40 is de massabalans weergegeven van het veresteringsproces.

Tabel 40 Massabalans van het veresteringsproces

Input	Massa (kg)	Output	Massa
Frituurvet	1.000	Biodiesel	1.014
Methanol	180	Glycerine	230
Kalium hydroxide	8		

De belangrijkste emissies gerelateerd aan het veresteringsproces zijn afkomstig van:

- de productie van methanol;
- de productie van kaliumhydroxide;
- het verbruik van gas voor het stomen van frituurvet.

Het derde proces waarbij emissies optreden in de keten is het verbruik van biodiesel. Dit zijn emissies die ontstaan door verbranding van biodiesel. De CO₂-emissies worden hierbij echter niet meegeteld, aangezien biodiesel wordt beschouwd als een klimaatneutrale brandstof.

Door de inzet van biodiesel wordt 'gewone' diesel uitgespaard. De uitgespaarde emissies, verminderd met de emissies in de keten 'frituurvet-biodiesel', is de totale milieuwinst van dit systeem. Deze milieuwinst wordt in de volgende paragrafen gepresenteerd.

C.3.2 Milieueffecten van 'keten frituurvet'

De hoeveelheid emissies per ton frituurvet zijn in Tabel 41 weergegeven.

Tabel 41 Hoeveelheid emissies per ton frituurvet

	Methanolverbruik	Kaliumhydroxide	Gebruik biodiesel in auto	Aardgas	Totaal
Emissies (kg) per ton frituurvet :					
CO ₂	1,22E+02	1,57E+01		3,81E-01	1,38E+02
CH ₄					
N ₂ O					
NMVOs	6,96E-02		6,50E-01		7,20E-01
CO			3,30E+00		3,30E+00
NO _x	2,48E-01		1,51E+01	1,09E-04	1,53E+01
PM	1,26E-02		6,35E-01		6,48E-01
SO _x	1,77E-01				1,77E-01
Kaliumhydroxide		7,35E+00			7,35E+00
Finaal afval					
Massa per ton frituurvet (kg):	182,57		1143,10		

Emissies Methanolverbruik

Tabel 42 Emissies naar lucht voor methanolproductie inclusief transport (kg/kg methanolverbruik)

	Emissie (kg/kg methanolverbruik)
CO ₂	6,70E-01
NMVOc	3,81E-04
NO _x	1,36E-03
PM _{2,5}	6,88E-05
SO ₂	9,71E-04

Data zijn afkomstig van de Eco-Invent database.

Kaliumhydroxide en aardgasverbruik

De massabalans van biodieselp productie en het benodigde aardgasverbruik zijn afkomstig van Sheffield Hallam University (El Sayed, 2003).

Tabel 43 Gebruiken aan hulpstoffen en energiedragers bij biodiesel productie uit frituurvet

Gasverbruik per ton frituurvet (MJ)	6,8
Kaliumhydroxide per ton biodiesel (kg)	8,4
Methanolverbruik per ton biodiesel (kg)	208,70

Gebruik biodiesel in transport

Tabel 44 Emissies **diesel**verbruik transport (kg/ton diesel)

CO ₂	2,21E+03
CH ₄	4,42 E-02
N ₂ O	6,68 E-02
NMVOS	1,06 E+00
CO	4,71 E+00
NO _x	1,57 E+01
PM	8,54 E-01
SO _x	6,70 E-02

Om emissies te bepalen van **biodiesel**verbruik zijn bovenstaande cijfers vermenigvuldigd met de verhouding van emissies van diesel en biodieselverbruik. Deze emissies zijn vermeld in de (IEA/AFIS-studie, 1996). Emissiecijfers zijn afkomstig van CBS, gebaseerd op jaar 2003 en gelden voor het totale wegtransport in Nederland.

C.3.3 Milieueffecten uitgespaard dieselverbruik

De emissies van uitgespaard dieselverbruik zijn vermeld in Tabel 45.

Tabel 45 Emissies van uitgespaard dieselverbruik

	Productie diesel	Verbruik diesel	Totaal
Uitgespaarde emissies (kg) per ton frituurvet :			
CO ₂	4,62E+02	1,93E+03	2,39E+03
CH ₄	3,73E+00		3,73E+00
N ₂ O	7,97E-03		7,97E-03
NMVOS	2,33E-01	9,29E-01	1,16E+00
CO	3,41E-01	4,12E+00	4,46E+00
NO _x	6,15E-01	1,37E+01	1,43E+01
PM	8,28E-02	7,47E-01	8,30E-01
SO _x	2,72E-01		2,72E-01

Emissies dieselproductie

Emissies van dieselproductie in Nederland (g/GJ).

Tabel 46 Emissies van dieselproductie in Nederland (g/GJ)

	Crude recovery	Crude transportation	LSD-refining	LSD T&D
VOS	1,10E+00	1,73E+00	1,63E+00	3,34E+00
CO	4,95E+00	7,63E-01	5,57E+00	1,26E-01
NO _x	4,62E+00	6,76E+00	8,68E+00	5,28E-01
PM ₁₀	3,20E-01	1,69E-01	2,27E+00	1,00E-02
SO _x	4,52E-01	8,09E-01	7,77E+00	8,50E-02
CH ₄	1,93E+01	6,63E+01	3,93E+01	1,22E-01
N ₂ O	6,00E-02	7,00E-03	1,99E-01	1,00E-03
CO ₂	3,04E+03	2,87E+02	1,21E+04	5,35E+01

Emissies van dieselproductie in Nederland zijn afkomstig van (ECN, 2003).

Om de emissies toe te rekenen naar kg dieselproductie is de 'lower calorific value' gebruikt van 42,7 MJ/kg. Deze waarde komt uit studie (IEA/AFIS, 1996).

C.3.4 Sommatie milieueffecten

Milieuprofiel 'frituurvet biodiesel'

In Tabel 47 is voor de keten 'frituurvet-biodiesel' per milieuthema het totaal aan thema-equivalenten weergegeven. De thema equivalenten zijn ingedeeld naar de volgende categorieën:

- energie: tot deze categorie behoren indirecte emissies afkomstig van energieverbruik (bijvoorbeeld elektriciteitsverbruik);
- direct: tot deze categorie behoren directe emissies afkomstig van energieverbruik (bijvoorbeeld biodiesel verbruik);
- chemisch: tot deze categorie behoren emissies die samenhangen met chemicaliën.

Tabel 47 Totaal aan thema equivalenten voor keten 'frituurvet-biodiesel'

Milieuthema	Klimaat-verandering GWP100	Verzuring	Vermesting	Humane toxiciteit	Ecotoxiciteit
Eenheid	Kg CO ₂ -eq.	Kg SO ₂ -eq.	Kg PO ₄ -eq.	Kg 1,4 dichloorbenzeen-eq.	Kg 1,4 dichloorbenzeen-eq.
Bijdragen energie-dragers		5,4E-05	1,4E-05	1,3E-04	3,1E-06
Bijdragen door directe emissies		7,5	2,0	18,6	0,5
Bijdragen gerelateerd aan gebruik chemicaliën c.q. hulpstoffen	138	0,3	0,03	0,3	0,02
Totaal	138	7,9	2,0	18,9	0,5

Milieuprofiel uitgespaarde diesel

De milieuwinst door uitgespaard dieselverbruik is weergegeven in Tabel 48. De thema equivalenten zijn ingedeeld in de categorie 'dieselproductie' en de categorie 'dieselverbruik'.

Tabel 48 Totaal aan uitgespaarde thema-equivalenten door vermeden dieselproductie en -verbruik

Milieuthema	Klimaat- verandering GWP100	Verzuring	Vermesting	Humane toxiciteit	Ecotoxiciteit
Eenheid	Kg CO ₂ -eq.	Kg SO ₂ -eq.	Kg PO ₄ -eq.	Kg 1,4 dichloor- benzeen-eq.	Kg 1,4 dichloor- benzeen-eq.
Dieselproductie	547	0,8		0,6	0,1
Dieselverbruik	1.930	17,1	0,5	6,9	1,8
	2.477	17,9	0,5	7,5	1,9

De emissies in Tabel 49 lijken qua orde van grootte sterk op het milieuprofiel voor de keten 'frituurvet-biodiesel'. Er is echter een groot verschil: doordat de directe emissies van diesel niet klimaatneutraal zijn, levert diesel een relatief grote bijdrage aan het broeikaseffect.

Netto milieubelasting

Door het milieuprofiel van het systeem 'frituurvet-biodiesel' af te trekken van het milieuprofiel van de uitgespaarde diesel wordt de milieuwinst bepaald door de inzet van frituurvet als biodiesel. Deze milieuwinst is gepresenteerd in Tabel 49.

Tabel 49 Totale milieuwinst in thema equivalenten

Milieuthema	Klimaat- verandering GWP100	Verzuring	Vermesting	Humane toxiciteit	Ecotoxiciteit
Eenheid	Kg CO ₂ -eq.	Kg SO ₂ -eq.	Kg PO ₄ -eq.	Kg 1,4 dichloor- benzeen-eq.	Kg 1,4 dichloor- benzeen-eq.
Biodiesel keten	138	7,9	2,0	18,9	0,5
Diesel keten	-2.477	-7,5	-1,9	-17,9	-0,5
	-2.339	0,4	0,1	1,0	0,0

D Alternatieve route verzuren palmolie

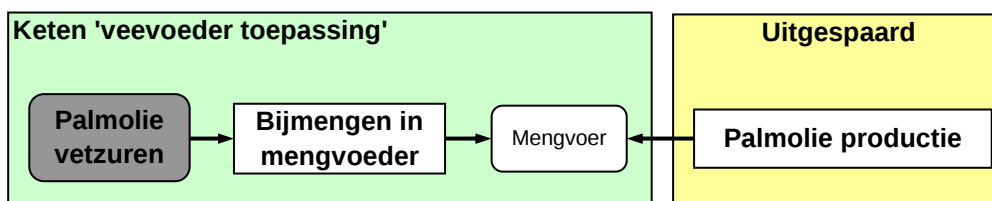
D.1 Keuze alternatieve route

De palmolie vetzuren beschouwd in dit project worden in de referentiesituatie toegepast in veevoeders. De vetzuren dienen daarbij als energierijke toeslagstof en worden tevens gegeven omdat consumptie met name bij varkens leidt tot vetopslag in het vlees, waardoor dit malser wordt.

Uitgangspunt was in eerste instantie dat het aan de markt onttrekken van vetzuren voor meestook zal nopen tot teelt van extra tarwe om te kunnen voldoen aan de behoefte in de veehouderij aan energierijk voer. Dit doet echter geen recht aan de functie van vetzuren als 'malsmakers'. Om die reden is - mede op basis van telefoongesprekken met mensen in de veevoeder branche - het uitgangspunt bijgesteld. Bij nader inzien is uitgegaan van een benodigde extra productie van ruwe palmolie. Palmolie is eveneens een energierijk product en leidt ook tot 'productie' van mals vlees bij varkens.

De te vergelijken systemen zijn in Figuur 14 weergegeven.

Figuur 14 Voor palmolie vetzuren beschouwde systeem



In volgende paragrafen wordt eerst globaal ingegaan op de teelt van oliepalmen en de verwerking van de vruchten tot ruwe palmolie. Daarna wordt een inschatting gegeven van de aan palmolieproductie gerelateerde milieubelasting.

Aangenomen is dat aan de inzet van palmolie vetzuren in veevoeder geen milieubelasting is gerelateerd:

- de vetzuren zullen natuurlijk van de raffinaderij naar de veevoeder producent moeten worden getransporteerd, maar we hebben aangenomen dat dit transport evenveel milieubelasting met zich meebrengt als het transport van aangelande ruwe palmolie van haven naar veevoeder producent;
- inzet van vetzuren en ruwe palmolie geeft ongetwijfeld milieubelasting in de vorm van excrementen, ammoniakemissies en emissies van en broeikasgasen. Kwantificering hiervan en het bepalen van een eventueel verschil in milieubelasting past niet binnen deze studie.

D.2 Beschrijving teelt en productie palmolie

Teelt

Palmolie is met een marktaandeel van 25% - 30% en een totale mondiale productie van 24 Mton/jaar mondiaal (anno 2000) de belangrijkste plantaardige olie.

Maleisië en Indonesië produceren samen 80% van de totale mondiale productie aan palmolie. Daarom is in deze milieu analyse uitgegaan van productie in beide landen.

Maleisië is de grootste producent en is ook verreweg de grootste exporteur van palmolie. Ongeveer 80% van de 14 Mton/jaar (anno 2000) geproduceerde olie wordt geëxporteerd. Van de Indonesische productie is ongeveer 70% voor eigen consumptie.

Teelt vindt typisch plaats op plantages van 10.000 ha - 20.000 ha. De plantages beschikken in het algemeen over een eigen fabriek voor de winning van ruwe palmolie. De palmolie vruchten worden het hele jaar door geoogst. De vruchten groeien in trossen (fresh fruit bunches of FFB), waarbij de oliehoudende noten op een soort drager of steel groeien.

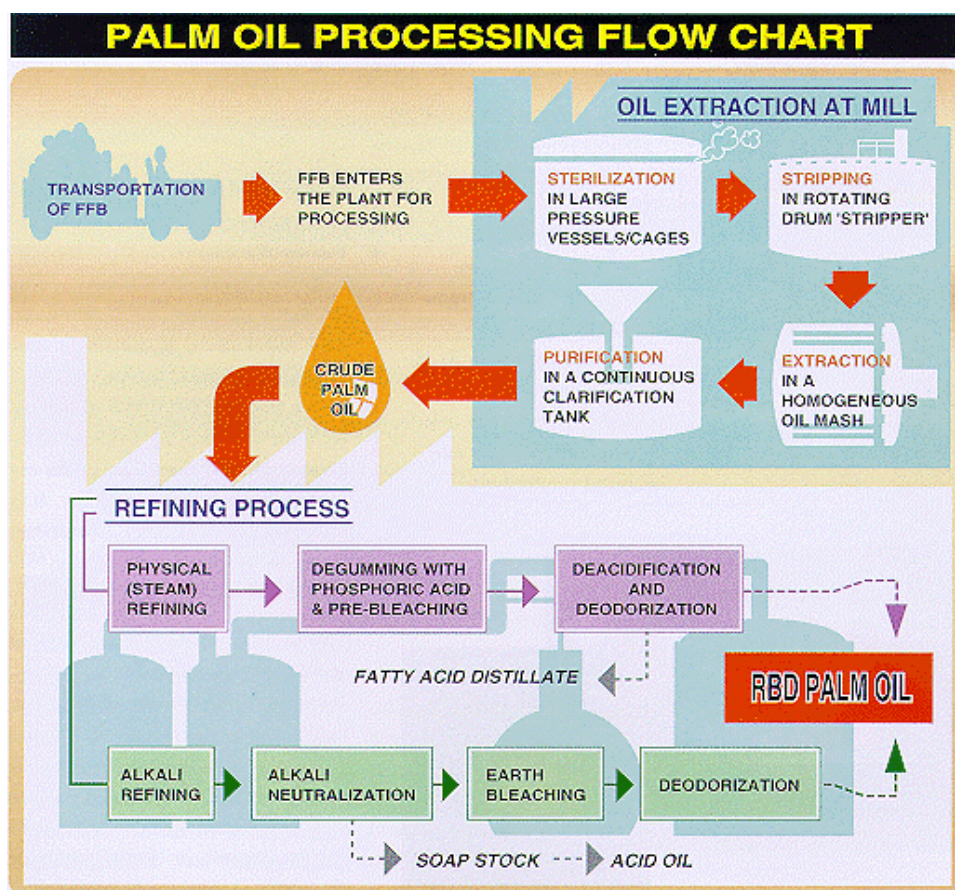
In D.3 is ter illustratie en als achtergrond informatie een overzicht gegeven van opbrengsten per ha en van inzet van kunstmest.

Figuur 15 Voorbeeld van fresh fruit bunches



Alle teeltactiviteiten, zoals bemesten, toepassen van bestrijdingsmiddelen en oogsten, vinden handmatig plaats. Enkel transport van de geoogste palmolie trossen naar de plantage fabriek is gemechaniseerd. Daarvoor worden kleine vrachtwagens of tractoren gebruikt. De gemiddelde transportafstand is ongeveer 10 kilometer.

Figuur 16 Processchema voor palmolie productie



Ruwe palmolie productie

De trossen worden na oogst naar de fabriek getransporteerd en daar gesteriliseerd met stoom en gescheiden in noten en steel (empty fruit bunch of EFB). De noten worden geperst en de ruwe olie (crude palm oil of CPO) wordt middels filtratie en decanteren afgescheiden van de pitten (kernel), de schillen (shells), de vezels (fibres) en het waterige vocht in de noten.

Tabel 50 geeft de gemiddelde verdeling van de geoogste trossen over de verschillende producten en bijproducten.

Tabel 50 Opbrengsten palmolie productie per eenheid FFB

	Indonesië	Maleisië	Gewogen gemiddelde beide landen
Output POM (palm oil mill) per ton FFB			
- CPO (crude palm oil)	23%	22%	22%
- Kernel	4%	6%	5%
- EFB (empty fruit bunches)	22%	21%	21%
- Fibres	13%	13%	13%
- Shell	7%	6%	6%
- POME	68%	77%	74%
Jaarproductie en export palmolie (kton)	4.010	9.080	

De pitten worden bij aparte verwerkers geperst en gescheiden in palmpitolie en palmpitvezel. Deze route is in dit project verder buiten beschouwing gelaten omdat ze niet relevant is voor CPO-productie.

De bij palmolie winning vrijkomende vezels en een deel van de schillen worden in de fabriek gebruikt als brandstof voor stoomproductie. Stoom wordt in de regel opgewekt in een boiler met nageschakelde tegendruk turbine. De tegendruk turbine produceert voldoende elektriciteit om de eigen behoefte van de fabriek te kunnen dekken.

De rest van de schillen en de EFB worden in Indonesië verbrand zonder energie-terugwinning - zogenaamde pile burning - waarna de as als meststof op de plantage wordt gebruikt. In Maleisië is deze praktijk inmiddels verboden vanwege de daarbij optredende milieubelasting. In plaats daarvan worden de schillen en EFB gecomposteerd of gemulchd en vervolgens als meststof op de plantage gebruikt.

Bij het proces ontstaat uit het waterige vocht uit de noten en andere waterige stromen een afvalwaterstroom - POME genoemd - die zwaar vervuild is met organisch materiaal. Deze stroom wordt in de regel in aerobe en anaerobe vijvers gereinigd door biologische omzetting. Daarbij komt door vergisting methaan vrij. Het valt niet te verwachten dat deze situatie op korte termijn zal veranderen omdat winning van biogas middels een gesloten systeem te duur is.

De ruwe palmolie wordt over de weg naar de dichtstbijzijnde haven getransporteerd en per bulkcarrier naar Europa verscheept. Wegtransport vindt plaats over een afstand van circa 120 km in vrachtwagens met een laadvermogen van 3 - 10 ton. Scheepstransport vindt plaats met bulkcarriers van circa 60.000 ton laadvermogen.

D.3 Enkele achtergrondgegevens bij teelt

Tabel 51 geeft een indicatie van de in beide landen geproduceerde hoeveelheden palmolie. Daarbij is voor Indonesië onderscheid gemaakt tussen verschillende typen plantages vanwege de verschillen tussen de verschillende plantage systemen in gebruik van meststoffen en opbrengsten per ha. Het kunstmestgebruik is in Tabel 58 gegeven.

Tabel 51 Enkele specifieke gegevens van palmolie teelt in Maleisië en Indonesië, opbrengsten per ha

	Indonesië				Maleisië	Gewogen gemiddelde over beide landen
	Klein-schalige producent	Staats-plantage	Privé plantage	Gewogen gemiddeld ¹³	Privé plantage	
Opbrengsten (ton/(ha·jaar))						
FFB (fresh fruit bunches)	15,4	19,1	21,2	19,1	23,3	22,0
CPO (crude palm oil)	3,4	4,2	4,9	4,3	5,1	4,9
PK (palm kernel)	0,6	0,8	0,9	0,8	1,4	1,2
Aandeel lokale productie CPO (kton/jaar)	1.544	1.846	2.615			
Export hoeveelheden palmolie (kton/jaar)				4.010	9.080	

Tabel 52 Kunstmestgebruik bij palmolie teelt

	Indonesië				Maleisië	Gewogen gemiddelde over beide landen
	Klein-schalige producent	Staats-plantage	Privé plantage	Gewogen gemiddeld	Privé plantage	
Kunstmest (kg/(ha·jaar))						
- Ammonium nitraat - als kg N					114	79,1
- Ammonium sulfaat - als kg N	56	37	67	54,9		16,8
- Ruw fosfaat als kg erts	126		87	70,3	66	67,0
- Triple superfosfaat - als kg P		32		9,8		3,0
- KCl - als kg K	173	94	192	157,0	207	191,7

D.4 Milieueffecten route veevoer

Milieubelasting per eenheid FFB

De milieubelasting is in eerste instantie bepaald per ton FFB omdat dit de geoogste en verwerkte grootte is.

Teelt en verwerking omvatten een veelheid aan milieubelastende processen, zowel processen direct op de plantage en palmolie fabriek als indirect processen, gerelateerd aan transporten, productie van kunstmest, etc. Tabel 58 en 59 geven een schatting van de aan deze processen gerelateerde emissies. De totstandkoming van de gepresenteerde kentallen wordt uiteengezet in onderstaande subparagrafen.

¹³ Berekend als gewogen gemiddelde over de drie verschillende typen plantages.

Tabel 53 Directe emissies bij palmolie teelt en CPO-productie (alle kentallen per ton FFB)

	Verbranding				Overig			Som per ton FFB
	Fibres en shells in ketel	Shells pile burning	EFB pile burning	Shells composteren	EFB composteren	POME zuiveren	N-kunstmest toevoegen	
CH ₄	0,06	0,03	0,07	0,12	0,45	7,56		8,29
N ₂ O	0,01	0,0004	0,001	0,01	0,05		0,086	0,15
SO ₂	0,52		0,03					0,55
NO _x	0,21	0,0132	0,041					0,27
NH ₃				0,02	0,11			0,13
CO	2,11	0,70	1,47					4,28

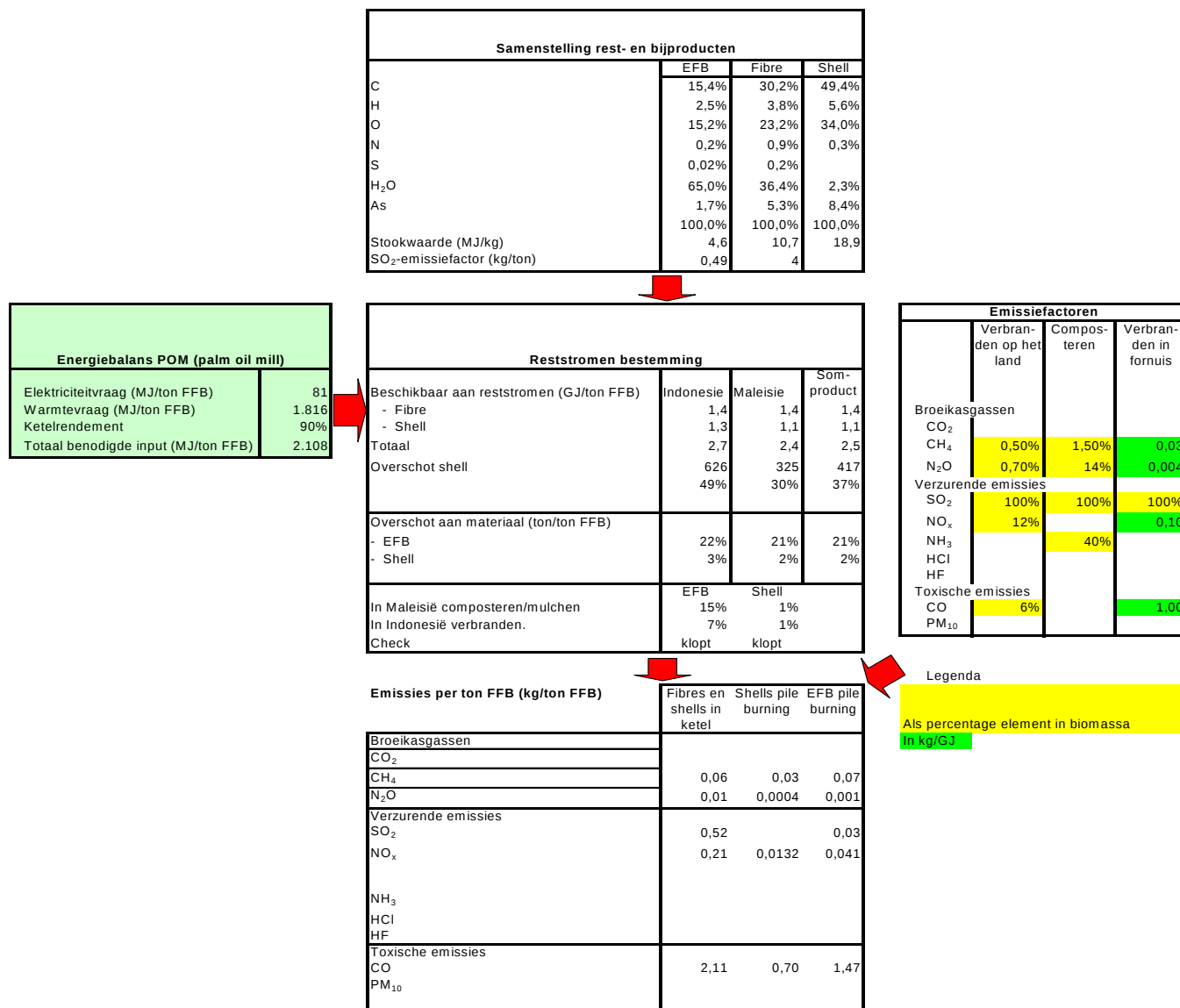
Tabel 54 Indirecte emissies bij palmolie teelt en CPO-productie (alle kentallen per ton FFB)

	Ammonium nitraat (34,5% N)	Ammonium sulfaat (21% N)	Ruw fosfaat (30% P)	Triple superfosfaat (44% P)	KCl (60% K)	Transport op plantage	Wegtransport CPO (km)	Zee-transport CPO	Som per ton FFB
CO ₂	5,5	0,4	0,2	0,1	3,1	6,4	6,0	0,8	22,3
CH ₄	-3,8E-05	-6,8E-05	1,0E-05	1,8E-04	1,5E-04	7,1E-03	6,6E-03	7,9E-04	1,5E-02
N ₂ O	6,8E-02	7,9E-06	9,8E-07						6,8E-02
SO ₂	-2,1E-03	3,9E-02	3,8E-04			5,8E-03	5,4E-03	9,9E-03	5,8E-02
NO _x	4,2E-02	2,0E-03	1,4E-04			2,6E-02	6,0E-02	1,7E-02	1,5E-01
NH ₃	2,2E-02	3,5E-08							2,2E-02
HCl		5,4E-09							5,4E-09
HF			1,2E-05						1,2E-05
CO	-8,2E-05	-3,1E-04	1,3E-05			1,4E-02	1,5E-02	6,6E-04	3,0E-02
PM ₁₀	2,9E-03	-1,8E-04	1,4E-03			4,1E-03	2,3E-03	1,1E-03	1,2E-02

D.4.1 Directe emissies door verbranding

De berekening van de emissies gerelateerd aan verbranden zijn gegeven in Figuur 17.

Figuur 17 Schema bepalen milieubelasting bij verbranding en compostering van restproducten van palm olie teelt



Uitgangspunten zijn:

- de warmte en elektriciteit benodigd voor verwerking van de FFB (uit (Kay, 2003)), zie linker tabel;
- de vrijkomende hoeveelheden schillen en vezels en hun energie-inhoud (op basis van (Parkhomenko, 2004));
- de chemische samenstelling van de vrijkomende restproducten, op basis van gegevens uit de Phyllis database van ECN¹⁴ en op basis van (Suhaimi, 2001);
- de emissiefactoren voor procesgerelateerde emissies van CH₄, CO, N₂O en NO_x en dergelijke, op basis van (IPCC, 1996).

De gehanteerde opzet is als volgt.

- EFB wordt sowieso gecomposteerd (Maleisië) of verbrand (Indonesië);
- vezels worden sowieso verbrand in de warmtekracht installatie van de palmolie fabriek op de plantage;
- het verschil tussen de benodigde brandstofinput voor de warmtekracht installatie van de palmolie fabriek op de plantage en de energie-inhoud van de vrijkomende hoeveelheid vezels wordt gedekt door inzet van schillen.

Door vergelijking van de benodigde input voor stoom- en elektriciteitsproductie met de energie-inhoud van de vrijkomende vezels en schillen is bepaald hoeveel van de schillen gemiddeld moeten worden verbrand in de warmtekracht installatie van de palmolie fabriek op de plantage. Het overschot wordt verbrand (Indonesië) of gecomposteerd (Maleisië). Deze schatting is weergegeven in de (horizontaal en verticaal) middelste tabel van Figuur 17.

Combinatie van

- de chemische samenstelling van EFB, vezelmateriaal en schillen;
 - de emissiefactoren uit het IPCC referentie rapport; en
 - de per ton FFB verbrande hoeveelheden schillen, EFB en vezel materiaal.
- geeft de emissies van CH₄, CO, NO_x en N₂O. Er is aangenomen dat zwavel in de vezels, schillen en EFB volledig wordt omgezet in SO₂.

D.4.2 Overige directe emissies

Emissies van CH₄ uit POME zuivering zijn geschat op basis van (Felda, 2003), (Yeoh, 2004). Volgens deze bronnen komt per m³ POME ongeveer 24 Nm³ biogas vrij met een gemiddeld methaangehalte van 60%. Vermenigvuldigen met de dichtheid van methaan (0,71 kg/Nm³) geeft een specifieke CH₄-emissie van 10,2 kg/m₃ POME.

De omvang van lachgas emissies door toepassing van N-kunstmest zijn geschat uitgaande van de toegevoegde hoeveelheid N en de IPCC emissiefactor van 1,25% N_{N2O}/N_{toegevoegd}.

¹⁴ Zie <http://www.ecn.nl/phyllis/>.

Emissies ten gevolge van composteren zijn geschat op basis van de chemische samenstelling van de twee te composteren reststromen en op basis van de emissiefactoren/conversiefactoren voor composteren.

D.4.3 Indirecte emissies

Emissies gerelateerd aan de productie van kunstmest zijn overgenomen uit Eco-Invent, een internationaal als toonaangevend beschouwde database met milieugegevens voor chemicaliën, bouwmaterialen, metalen en landbouwproducten. In Tabel 55 is aangegeven op welke regio's de data uit de Eco-Invent database betrekking hebben.

Tabel 55 Representatieve situaties gekwantificeerd in Eco-Invent database

	Regio	Achterliggende processen ¹⁵
Ammonium nitraat	E.U.	E.U.
Ammonium sulfaat	E.U.	E.U.
Ruw fosfaat als kg erts	Marokko ¹⁶	E.U.
Triple superfosfaat	Marokko, V.S. ¹⁷	E.U.
KCl	E.U.	E.U.

Voor transporten zijn CE-cijfers uit (CE, 2003) gebruikt. Deze cijfers worden onder andere door EEA gebruikt.

D.5 Bijdragen aan beschouwde milieuthema's

Omrekenen van de directe en indirecte emissies naar milieuthema's met behulp van karakterisatiefactoren geeft de in Tabel 56 gegeven totale bijdragen per eenheid FFB.

Uit de tabel blijkt het volgende:

- de bijdrage aan broeikasgas emissies wordt voornamelijk bepaald door de emissies van CH₄ en N₂O. Deze emissies hangen voornamelijk samen met respectievelijk het zuiveren van de POME en de inzet van ammoniumnitraat;
- de bijdragen aan verzuring en vermisting zijn vooral gerelateerd aan de indirecte emissies van SO₂, N₂O, NO_x en NH₃. Al deze emissies hangen samen met kunstmest productie;
- de bijdrage aan humane toxiciteit wordt voornamelijk bepaald door de emissies van NO_x en N₂O. Beide stoffen worden voornamelijk geëmitteerd bij ammoniumnitraat productie.

¹⁵ Productie van NH₃, H₂SO₄, HNO₃, warmte en elektriciteit.

¹⁶ In de Eco-Invent database wordt een 'milieuprofiel' gegeven voor fosfaaterts winning in Marokko en de V.S. In deze studie is uitgegaan van de gegevens voor winning in Marokko, aannemende dat de winning in dit ontwikkelingsland representatiever is voor winning in andere landen dan Marokko en de V.S. Bovendien zal een groot deel van het fosfaat erts dat in Florida wordt gewonnen voor de thuismarkt in de V.S. bestemd zijn en dus niet beschikbaar zijn voor inzet bij teelt in Azië.

¹⁷ Productie in Marokko en de V.S. dekt 50% van de wereldproductie.

Met andere woorden, de milieubelasting gerelateerd aan palmolie productie hangt vooral samen met kunstmest en met het zuiveren van POME. De teelt zelf en de meeste processen in de fabriek dragen weinig bij aan de totale milieubelasting.

Tabel 56 Bijdragen aan themascores per ton FFB uit directe en indirecte emissies

	Klimaatverandering (kg CO ₂ -eq.)			Humane toxiciteit (kg 1,4-dichloorbenzeen eq.)			Ecotoxiciteit (kg 1,4 dichloor benzeen)			Verzuring (kg SO ₂ -eq.)			Vermesting (kg PO ₄ ³⁻ -eq.)		
	direct	indirect	totaal	direct	indirect	totaal	direct	indirect	totaal	direct	indirect	totaal	direct	indirect	Total
CO ₂		22	22												
CH ₄	191	0,3	191												
N ₂ O	45	20	65												
SO ₂				5,3E-02	5,6E-03	5,9E-02				0,66	0,07	0,73			
NO _x				3,2E-01	1,8E-01	5,0E-01				0,13	0,07	0,21	0,03	0,02	0,05
NH ₃				1,3E-02	2,2E-03	1,5E-02				0,21	0,04	0,24	0,05	0,01	0,05
HCl					2,7E-09	2,7E-09									
HF					3,5E-02	3,5E-02		5,5E-05	5,5E-05						
CO															
PM ₁₀					9,6E-03	9,6E-03		9,6E-03	9,6E-03			4,0			0,6
			279			0,6			0,01			1,2			0,1

Voor zover kan worden nagegaan wordt in de hele productieroute niet of nauwelijks vast afval geproduceerd.

De bijdragen aan humane toxiciteit en ecotoxiciteit zijn vooral geraamd op basis van emissie van fijn stof, NO_x, SO₂ en een beperkt aantal andere verontreinigende stoffen. De raming is echter globaal omdat bijvoorbeeld geen emissies van zware metalen zijn verdisconteerd.

Emissies van zware metalen blijven buiten beschouwing, evenals emissies van persistente organische verontreinigingen (POP's). Dit hangt deels samen met gebrek aan beschikbare informatie. Zo zal bij verbranding van shells, vezels en EFB een emissie van zware metalen optreden. Maar vanwege onbekendheid met het gehalte aan zware metalen in deze restproducten is de emissie niet vast te stellen.

Eenzelfde beperking geldt voor emissies naar water en bodem. Er zullen waarschijnlijk emissies van vermestende stoffen plaatsvinden bij toepassing van kunstmest - met name bij toepassing van de in hoge mate mobiele stikstof verbindingen. Maar het is bij gebrek aan informatie over processen in de bodem in tropische landen niet mogelijk om een stikstof balans op te zetten, zoals we wel zouden kunnen opstellen voor de Nederlandse situatie (als die relevant zou zijn).

De emissies uit POME naar oppervlaktewater zijn overigens verwaarloosbaar. Vrijwel al het organische materiaal in POME wordt omgezet tijdens zuivering, waardoor de restemissie verwaarloosbaar is.

Allocatie en omrekenen naar milieubelasting per ton CPO

Teelt en verwerking van palmolie noten levert twee waardevolle producten op:

- crude palm oil;
- palmnoten.

Conform de gangbare LCA-methodiek is de aan teelt en verwerking gerelateerde milieubelasting middels economische allocatie over beide producten verdeeld. In Tabel 57 is de berekening van de verdeelsleutel gegeven.

Tabel 57 Bepaling allocatiefactor voor CPO voor milieubelasting samenhangend met palmolie teelt en CPO-productie

	Marktprijzen 2004, Maleisië	Massa per ton FFB	Product massa en marktprijs	Verdeel-sleutel
- CPO (anno 2004)	1.600	22%	353	86%
- Kernel (anno 2004)	1.050	5%	57	14%
Totaal			410	

De hoeveelheid CPO per eenheid FFB bedraagt circa 220 kg/ton (zie ook Tabel 50). Voor de omrekening van emissies per ton FFB naar emissies per ton CPO moet daarom een factor $(1 \div 0,22) \times 86\% = 3,90$ worden toegepast. Alleen bij transporten van CPO hoeft geen rekening te worden gehouden met toerekening aan palmpitten. In dat geval is de omrekenfactor $(1 \div 0,22) = 4,53$.

Omrekening geeft de onderstaande bijdragen per ton CPO.

Tabel 58 Themabijdragen per ton CPO

	Klimaat Verandering (kg CO ₂ -eq.)	Verzuring (kg SO ₂ -eq.)	Vermesting (kg PO ₄ ³⁻ -eq.)	Humane toxiciteit (kg 1,4-dichloor benzeen eq.)	Ecotoxiciteit (kg 1,4 dichloor benzeen)
CO ₂	91				
CH ₄	745				
N ₂ O	255				
SO ₂		0,2		2,9	
NO _x		2,0		0,8	0,2
NH ₃		0,1		0,9	0,2
HCl		0,0			
HF		0,1	0,00		
CO					
PM ₁₀		0,0	0,04		
Totaal	1.091	2,5	0,04	4,6	0,4

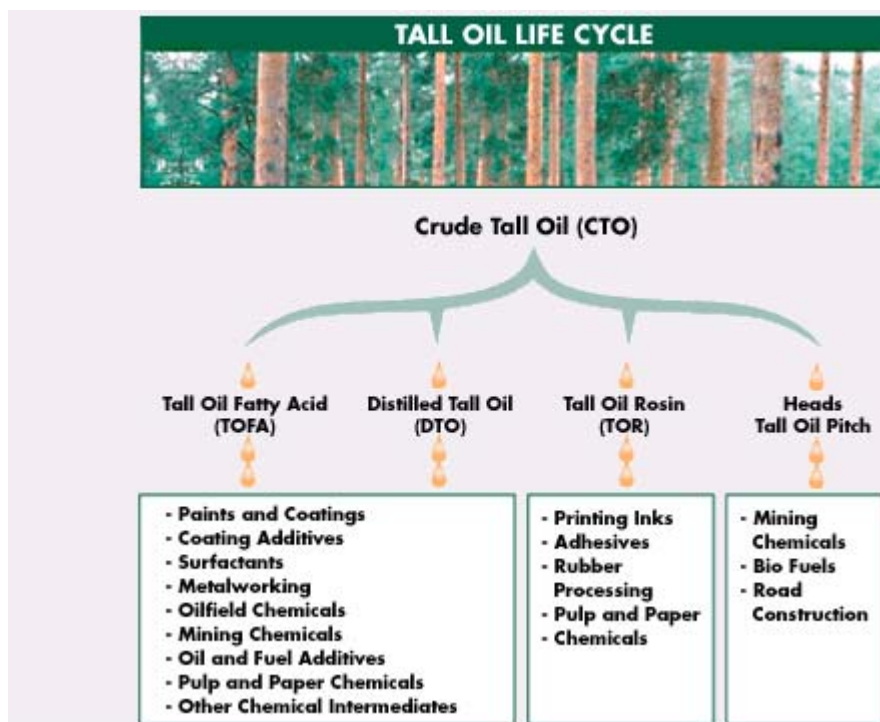


E Alternatieve routes tall oil pitch

E.1 Keuze alternatieve routes

Tall oil pitch is de 'bottom' oftewel het residu van tall oil destillatie. Tall oil is een bijproduct van het sulfaat pulp proces en bestaat uit niet vluchtige rosin acids, hoog moleculaire alcoholen, vetzuur esters van sterols en lignine. De lichtere en vluchtigere verbindingen worden tijdens destillatie afgescheiden, de zwaardere componenten blijven als pitch achter. De pitch vindt vooral toepassing als brandstof en in beperkte mate als additief in met name asfalt, rubber, drukinkten. Daarnaast wordt het beschouwd als een potentiële waardevolle bron van cholesterol verlagende vetzuren (zie Figuur 18).

Figuur 18 Tall oil life cycle



Tall oil pitch heeft een stookwaarde vergelijkbaar met die van zware stookolie. Vanwege het hoge verwerkingspunt is verwarmde opslag noodzakelijk. Opslag moet in zuurbestendig materiaal worden uitgevoerd.

De pitch die op de internationale markt wordt verhandeld als brandstof heeft een zwavelgehalte van 0,2% - 0,4% en een asgehalte van 0,2% - 0,4%. Het gehalte aan zware metalen schijnt verwaarloosbaar te zijn. De as bestaat voornamelijk uit natrium sulfaat en carbonaat (www.talloil.se). Enkele specificaties zijn in onderstaande tabel gegeven¹⁸.

¹⁸ Zie http://www.eastman.com/Product_Information/ProductHome.asp?Product=1784.

Tabel 59 Specificaties van pitch

Property	Test Method	Typical Value, Units
Fatty Acids	GC	3%
Rosin Acids		31%
Acid Number		68
Molecular Weight Distribution		
<400		25%
<700		69%
<1000		97%
>1000		3%
Viscosity @ 100°C		320 cSt
Density @ 100°C		0.993 kg/L (8.28 lb/gal)
Heat Value	D 240	16,500 Btu/lb
Sulfur Content	D 4294	0.30%
Ash Content	D 482	0.24%

De Europese destillatie capaciteit voor crude tall oil bedraagt circa 0,5 Mton/jaar. De gemiddelde opbrengst aan pitch bedraagt circa 45% van de verwerkte crude, oftewel circa 225 kton/jaar (op basis Forchem website: www.fchem.com).

Aanbieders op de Europese markt zijn onder andere Forchem (Su), Talloil (Sw) en Arizona Chemical. Arizona Chemical is mondiaal de grootste verwerker van tall oil en de grootste producent van tall oil pitch. Forchem is met een mondiaal marktaandeel van circa 15% tweede op de markt. De markt wordt blijkbaar gedomineerd door een beperkt aantal bedrijven.

E.2 Markt voor tall oil pitch, alternatieve verwerkingsroutes

Over de markt voor tall oil pitch is uiteenlopende informatie verkregen.

Volgens Göran Forsberg van Talloil is de belangrijkste toepassing inzet als stookolie vervanger. Daarnaast worden volgens hem in Europa kleinere hoeveelheden toegepast in asfalt, drukinkten en plastics/rubber industrie. In die toepassing concurreert de pitch waarschijnlijk met plantaardige vetzuren¹⁹.

Aan de andere kant geeft Andy Piers van Arizona Chemical aan dat de pitch wordt verwerkt tot (in volgorde van afnemende marktwaarde):

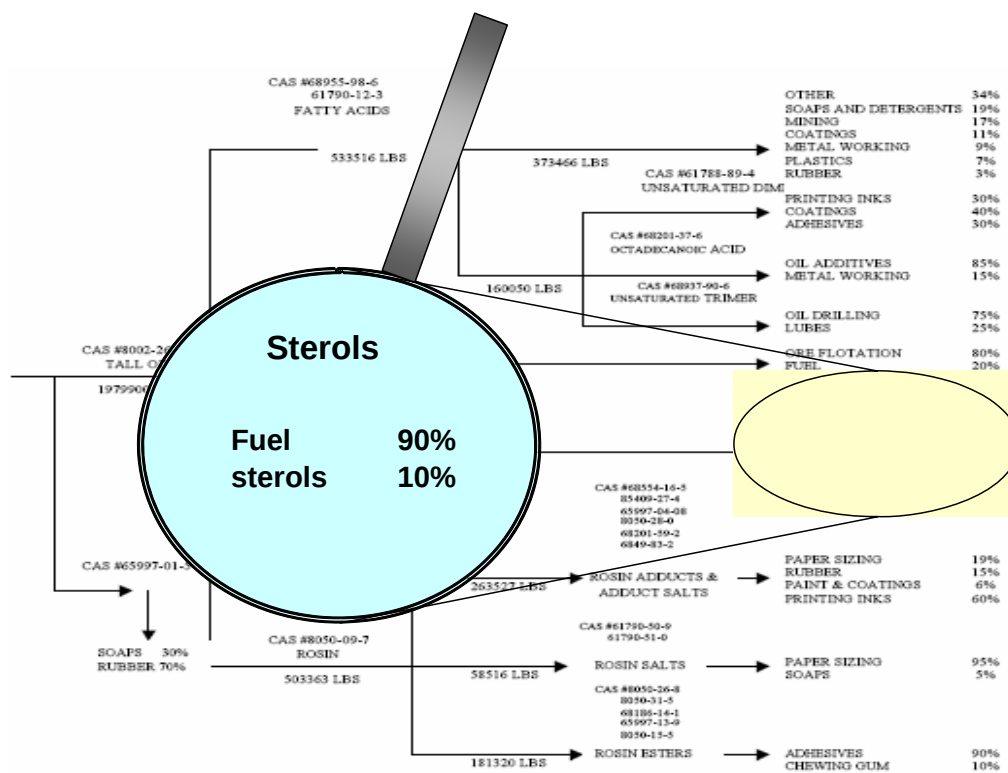
- Sterolen, cholesterol verlagende vetzuren bijgevoegd in voeding²⁰;
- Floatation agents;
- Bitumen extenders;
- Biobrandstof.

Volgens hem is het aanbod aan pitch niet groot genoeg om de verschillende markten te kunnen verzadigen.

¹⁹ Betreft een educated guess, gebaseerd op het gegeven dat de pitch voor een aanzienlijk deel bestaat uit vetzuren - net als de plantaardige concurrent - en in dezelfde toepassingen wordt gebruikt als plantaardige vetzuren.

²⁰ Zie ook <http://vm.cfsan.fda.gov/~rdb/opa-g112.html>,
<http://www.google.nl/search?q=tall+oil+pitch+sterols&hl=nl&lr=&start=20&sa=N>.

In de derde plaats blijkt uit informatie over tall oil pitch verwerking in Noord-Amerika dat de pitch daar uitsluitend wordt ingezet als brandstof en als grondstof of bron voor sterolen (zie Figuur 19).



2003). De sterolen uit pitch bevatten sporen van dioxines en PAK's. Daarnaast hebben ze invloed op de menselijke hormoon huishouding.

Sterolen worden geproduceerd uit pitch, hout of de bij raffinage van plantaardige oliën afgescheiden geurstoffen. Producenten zijn onder andere²³:

- Raisio uit Finland, producent van Benecol op basis van tall oil pitch;
- Forbes Medi-Tech uit Canada, producent van Reducol op basis van tall oil pitch;
- Unilever, multinational en producent van Flora Pro-active of Take control op basis van sterolen uit soja;
- Teriaka uit Finland, producent van Diminicol op basis van tall oil pitch.

Forbes Medi-Tech en Chusei (een van oorsprong Japanse producent van plantaardige oliën) bezitten in Pasadena Texas de grootste productiefaciliteit ter wereld met een productiecapaciteit van 1.500 ton sterolen per jaar: de Phyto-source fabriek (Forbes Medi-Tech website).

De markt voor sterolen is dusdanig groot en groeit dusdanig snel dat er geen sprake is van concurrentie tussen de verschillende producenten en processen. Er is sprake van een groeiemarkt, met het oog waarop de nodige moeite wordt gedaan om de noodzakelijke grondstoffen vast te leggen. In deze studie is daarom ook een vergelijking gemaakt tussen (zie Figuur 20):

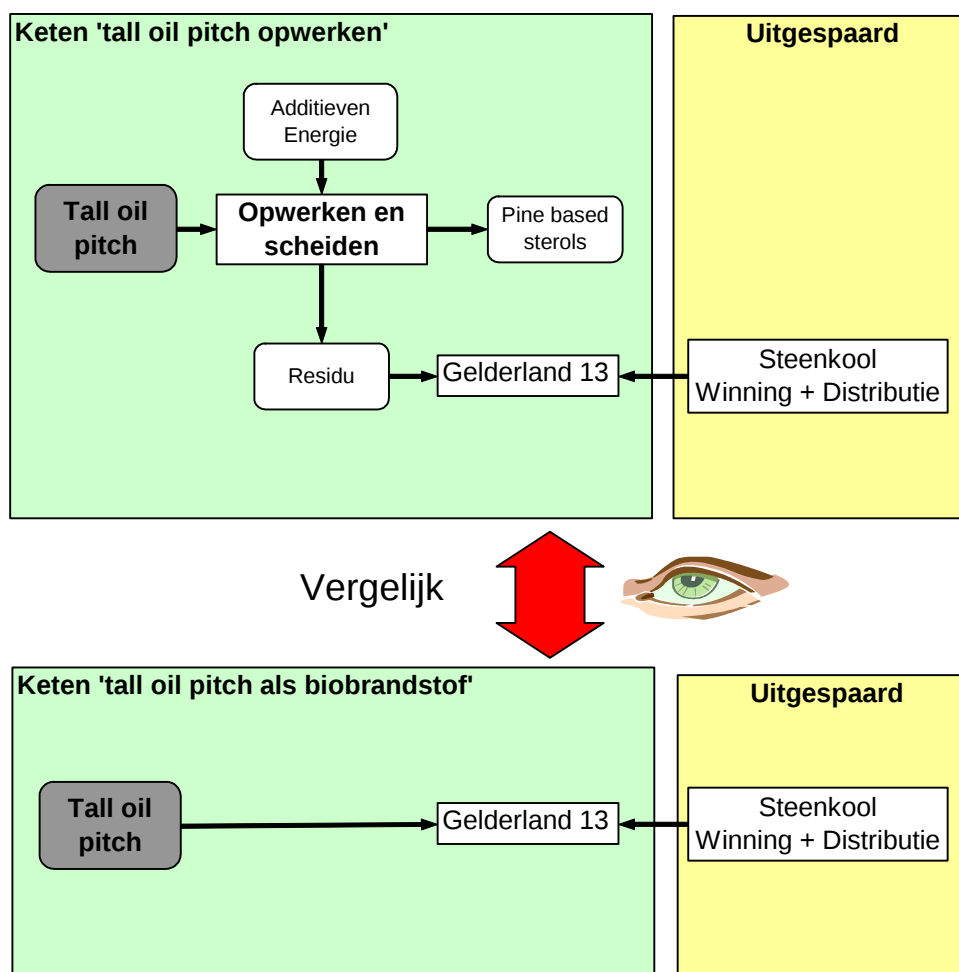
- integraal verbranden van tall oil pitch; en
- extractie van sterolen uit pitch, gevolgd door verbranding van het residu.

Omdat niet voldoende geverifieerd kon worden in hoeverre de mondeling verstrekte informatie betrouwbaar is en een compleet beeld geeft, is in deze studie uitgegaan van de situatie zoals geschetst in het op internet te vinden website (<http://www.epa.gov/chemrtk/tofars/c13056ft.pdf>), waarin pitch enkel als brandstof of bron van sterolen wordt genoemd.

Op basis van bovenstaand overzicht zijn de volgende alternatieve routes geselecteerd, zie Figuur 20.

²³ Zie bijvoorbeeld: www.new-nutrition.com/newspage/plantsterols.htm.

Figuur 20 Alternatieve routes voor tall oil verwerking



Er zou op termijn concurrentie kunnen optreden tussen sterolen uit verschillende bronnen. Dit is in deze studie genegeerd. In de eerste plaats is voor een dergelijke complexe analyse binnen dit project onvoldoende tijd beschikbaar. In de tweede plaats blijkt bij een eerste scan van gegevens op internet nog minder over de alternatieve productieroutes te vinden als over extractie uit pitch is gevonden. Wel bekend is hoe het productieproces verloopt (EU, 2003)²⁴, maar gegevens over emissies en energiegebruiken zijn niet te vinden.

²⁴ Volgens deze bron worden plant-sterolen geproduceerd uit vetzuren die zijn afgescheiden bij destillatie van met name soja olie. De toegepaste chemische processen betreffen gefractioneerde destillatie, transesterificatie, destillatie, kristallisatie uit een heptaan oplossing en herkristallisatie.

E.3 Productieproces en massabalans

De sterolen worden over het algemeen uit pitch - en voor zover kan worden nagegaan - geïsoleerd door (EFSA, 2003)²⁵:

- extractie (vergelijk koffie zetten) met methanol of een ander organisch oplosmiddel, zoals methylethylketon bij verhoogde temperatuur;
- concentreren en kristallisatie van de sterolen uit het oplosmiddel - waarschijnlijk door afkoelen van het oplosmiddel;
- herkristalliseren en wassen van de kristallen met water;
- drogen van de gereinigde kristallen onder vacuüm.

De opbrengst aan sterolen is in één bron (IFTS, 2005) opgegeven als 0,4 kg/ton naaldhout. Gegeven de hoeveelheid tall oil pitch per ton hout (circa 7 kg) betekent dit dat bij extractie ongeveer 5% van de pitch wordt afgescheiden als sterolen. Dit is consistent met informatie van Arizona Chemicals (mondelinge mededeling van Andy Piers) dat ongeveer 10% van de pitch wordt afgescheiden. In deze studie is een gemiddelde opbrengst van 8% aan sterolen per eenheid pitch aangehouden.

Het overblijvende materiaal zal alsnog als brandstof kunnen worden ingezet.

E.4 Emissies en energiegebruik

De Phyto-source fabriek in Pasadena emitteert per jaar ongeveer 190 kg methanol en ongeveer 270 kg methylethylketon. De specifieke emissies per ton pitch bedragen respectievelijk 0,01 kg methanol en 0,014 kg methylethylketon. De impact van deze emissies is beperkt.

Het jaarlijkse verbruik aan methanol en methylethylketon bedragen respectievelijk 3,8 ton aan methanol en 15,3 ton aan methylethylketon. Deze hoeveelheden worden elders verbrand met energierugwinning. De specifieke consumptie per ton pitch bedraagt respectievelijk 0,2 kg methanol en 0,8 kg methylethylketon. Deze verbruiken zijn zo beperkt qua impact dat ze verwaarloosd zijn in de milieuanalyse. Dit is ook consistent met de in de LCA methodiek gangbare vuistregel dat hulpstoffen waarvan het verbruik op gewichtsbasis kleiner is dan 1% van de functionele eenheid (dus minder dan 10 kg/ton functionele eenheid) kunnen worden verwaarloosd.

De Phyto-source fabriek in Pasadena verbruikt voor opwekking van de voor afdampen van methanol en methylethylketon benodigde warmte aardgas. Er is helaas niet aangegeven hoeveel aardgas wordt gebruikt. Een eerste raming van ons komt uit op een specifiek verbruik van 0,4 GJ/ton pitch:

Op basis van de oplosbaarheid van cholesterol (een sterol) in methanol en aceton is geschat dat in een liter oplosmiddel ongeveer 20 g/l oplost bij een temperatuur van 60°C. Door afkoelen tot 10 - 20°C wordt het oplosbaarheidproduct verlaagd tot circa 1 g/l. De afgekoelde stroom zal vervolgens weer worden opgewarmd middels ondervuring of verwarming met stoom. Opwarmen van methanol

²⁵ Zie verder ook de website van Forbes Medi-Tech.

(soortelijke warmte is $2,5 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{K}$) van 10°C tot 50°C vergt circa $0,125 \text{ MJ/l}$ methanol of circa $0,4 \text{ GJ/ton pitch}$ ²⁶.

In deze berekening is nog geen optimalisatie van het proces door terugwinning en hergebruik van warmte uit de verzadigde en warme sterolen oplossing verdisconteerd.

Bovenstaande berekening moet als een indicatieve benadering worden gezien, waarmee de orde van grootte van het specifieke energiegebruik is bepaald. Uit de benadering blijkt dat het specifieke energiegebruik laag is en de daaraan gerelateerde milieubelasting dus beperkt zal zijn.

De aan het aardgasgebruik gerelateerde milieubelasting zal een CO_2 -emissie van circa 25 kg/ton pitch geven.

Al met al kan worden gesteld dat - voor zover uit de beperkte informatie valt af te leiden - de aan extractie van sterolen gerelateerde milieubelasting beperkt is.

²⁶ Uitgaande van oplossen van 20 g sterolen per liter methanol, een dichtheid van methanol van $0,79 \text{ kg/l}$ en een opbrengst aan sterolen van 80 g/kg pitch : $(0,125 \times 0,08) \div (0,02 \times 0,79) = 0,4 \text{ MJ/kg}$.