

Duurzaamheid van de bio-ethanol transitie

Verkenning van de duurzaamheid
van het Nr. One transitiepad

Rapport

Delft, Januari 2005

Opgesteld door: B.E. (Bettina) Kampman
H.J. (Harry) Croezen
L.C. (Eelco) den Boer



Colofon

Bibliotheekgegevens rapport:

B.E. (Bettina) Kampman, L.C. (Eelco) den Boer, H.J. (Harry) Croezen
Duurzaamheid van de transitie bio-ethanol
Verkenning van de duurzaamheid van het Nr. One transitiepad
Delft, CE, 2005

Bio-ethanol / Duurzaamheid / Duurzame energie / Analyse procestechnologie /
broeikasgassen

Publicatienummer: 05.8742.01

Alle CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl.

Opdrachtgever Nedalco b.v.
Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider
Bettina Kampman

© 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	7
1.1 Aanleiding	7
1.2 Doel van dit rapport	7
1.3 Aanpak	8
2 De bio-ethanol transitie van Nr. One	11
2.1 Inleiding	11
2.2 De transitie in het kort	11
2.3 Bio-ethanol op de korte termijn	14
2.3.1 Grondstoffen	14
2.3.2 Proces	14
2.3.3 Toepassingen	15
2.3.4 Ketens die worden vervangen	17
2.4 Bio-ethanol in 2020 en 2040 (de transitie)	18
2.4.1 Grondstoffen	18
2.4.2 Proces	19
2.4.3 Toepassingen	19
2.4.4 Ketens die worden vervangen	20
2.5 Tijdpad van deze transitie	22
3 Netto broeikasgasbalans	27
3.1 Inleiding	27
3.2 Methodiek berekening broeikasgasbalans	28
3.3 Afbakening	29
3.3.1 Het productieproces bij Nedalco	29
3.3.2 Vervangen producten	31
3.3.3 Indirect gerelateerde processen	32
3.3.4 Resulterende afbakening	34
3.4 De gegevens voor berekening van de broeikasgasemissies	34
3.4.1 Massabalans en verbruiken van energiedragers en chemicaliën	35
3.4.2 Specifieke CO ₂ -emissies per eenheid grondstof, hulpstof of energiedrager	38
3.4.3 Allocatie van emissies	39
3.4.4 Onzekerheden	40
3.5 De netto broeikasgasbalans	41
3.5.1 Resultaten	41
3.5.2 De gevolgen van het gebruik van veevoer als grondstof	42
3.5.3 Het energiegebruik van het productieproces	43
3.5.4 Mogelijke gevolgen van CO ₂ -verkoop	43
4 Overige aspecten van duurzaamheid	45
4.1 Inleiding	45
4.2 Kosten per ton vermeden CO ₂ -equivalenten	45

4.3	Effect op overige emissies	48
4.4	Ruimtegebruik	50
4.5	Ecologische en sociale aspecten in Nederland	50
4.6	Ecologische en sociale aspecten in het buitenland	51
	Literatuurlijst	53
A	Massabalansen en energieverbruik	57
B	Overzicht gebruikte gegevens en aannames	59
C	Resultaten broeikasgasbalans	63
D	Bijlage voor Nedalco: berekeningen voor W/K centrale Amylum Aalst	65

Samenvatting

Inleiding

Ethanol uit biomassa is één van de zes transitiepaden waarvan de projectgroep Transitie Biomassa eind 2003 heeft geadviseerd om ze op te nemen in de Energietransitie. Bio-ethanol werd daarmee positief beoordeeld, en er werd verwacht dat marktgerichte experimenten de ontwikkeling verder kunnen brengen. Nedalco BV heeft de intentie om, in samenwerking met enkele andere partijen, een dergelijk experiment uit te voeren in het kader van de Unieke Kansen Regeling (UKR) van het ministerie van EZ.

Bij de Transitie naar een Duurzame Energiehuishouding, waar de Transitie Biomassa deel van uitmaakt, speelt duurzaamheid uiteraard een centrale rol. Nedalco BV heeft daarom CE gevraagd om de verschillende duurzaamheidsaspecten van het transitiepad ethanol uit biomassa dat zij willen ontwikkelen in kaart te brengen. Centrale vragen die daarbij moeten worden beantwoord is hoe de toekomst van bio-ethanol eruit kan zien, in hoeverre bio-ethanol aan een duurzame energiehuishouding bij kan dragen, en wat de rol van het experiment is bij de verwezenlijking van dit potentieel.

Het ethanol transitiepad

Op dit moment kan bio-ethanol al voor de transportsector grootschalig worden geproduceerd, uit grondstoffen met gemakkelijk fermenteerbare suikers en zetmeel. Daarbij worden zogenaamde C6 suikers omgezet in bio-ethanol. Maar deze bio-ethanol is nog relatief duur, vergeleken met fossiele brandstoffen, en de CO₂-winst over de gehele keten is nog beperkt tot ca. 50%. Het doel van het transitiepad bio-ethanol, en ook van het consortium Nr. One, is dan ook om deze processen verder te ontwikkelen zodat zowel de kosten terug worden gedrongen als ook de CO₂-reductie verbeterd worden. Deze nieuwe technologie moet in de toekomst op brede schaal ingezet kunnen worden.

Daarvoor moeten nieuwe processen worden ontwikkeld, zodat ook hemicellulose en cellulose (de zogenaamde C5 suikers) omgezet kunnen worden. Als de verwachtingen uitkomen zullen dan aanzienlijk hogere omzettingsrendementen worden gehaald, tegen lagere kosten. Bovendien wordt het areaal aan grondstoffen dat kan worden gebruikt voor de bio-ethanol productie er verder mee uitgebreid. Er kan dan gebruik worden gemaakt van houtachtige biomassa, die bij teelt een veel lagere milieubelasting tot gevolg heeft dan de teelt van suikerbieten of granen. Het transitie experiment zal dan ook gericht zijn op het ontwikkelen en verbeteren van deze nieuwe processen.

Het ethanol transitiepad zal naar verwachting langs de volgende stappen verlopen.

Transitie stap 1

Als eerste stap in het transitiepad worden de C5-suikers in de bestaande grondstoffen voor bio-ethanol productie omgezet. Hiermee wordt het omzetzendement van het bestaande proces verhoogd. Deze techniek kan, na een succesvol experiment in de Transitie, worden toegepast in een nieuwe, geplande bio-ethanol fabriek (met een jaarproductie van 200 miljoen liter bio-ethanol).

Transitie stap 2.

Cellulose en hemicellulose zitten voor een groot gedeelte in de tertiare producten van fabrieken die landbouwgewassen raffineert tot suikers en overige producten. Tot deze categorie behoren bietenpulp, bagasse, tarwegries en corn fiber. Het voordeel van deze stromen is dat ze al in grote hoeveelheden op de bestaande fabrieken vrijkomen.

Transitie stap 3.

Op de wat langere termijn worden ook tarwestro, corn stover (maisstro) en bietenblad interessant. Deze componenten vergen geen extra landbouwareaal en kunnen na een nieuw opgezet oogst- en logistiek-systeem gerealiseerd worden.

Transitie stap 4.

Hierna komt pas energieteelt, van snelgroeiende hout- en grassoorten.

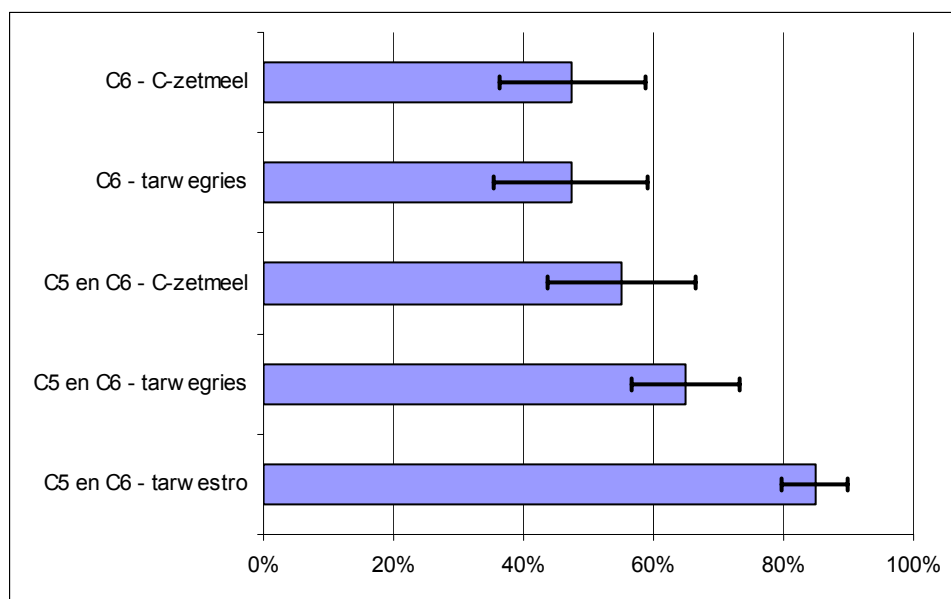
Het eindbeeld van dit transitiepad is dat zowel reststromen uit de landbouw- en voedingsmiddelenindustrie als ook energieteelt wordt ingezet voor de productie van bio-ethanol. Deze bio-ethanol vervangt vervolgens benzine als transportbrandstof, maar ook, na verwerking, andere producten zoals MTBE (een stof die aan benzine wordt toegevoegd), ethanol of ethyleen. Dit laatste is een bulkgrondstof voor de chemische industrie.

Broeikasgasbalans

Als bio-ethanol wordt geproduceerd om benzine te vervangen (of één van de andere producten) wordt de uitstoot van broeikasgassen gereduceerd. Hoeveel er wordt gereduceerd hangt af van de grondstof en van de vraag of alleen de C6 of ook de C5 suikers kunnen worden omgezet. Naarmate er meer C5-suikers worden omgezet (het doel van de transitie) verbeterd de broeikasgasbalans. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 1.

Als C-zetmeel of tarwegries wordt omgezet met de huidige technologie is de netto reductie van ethanol als benzinevervanger ca. 40-60%. Als de ontwikkeling van de technologie omzetting van C5-suikers mogelijk maakt neemt dit toe tot 45-65% bij C-zetmeel en 55-75% bij tarwegries. Als tarwestro wordt ingezet kan de CO₂-reductie oplopen tot 80-90%.

Figuur 1 Broeikasgasreducties die bij de verschillende routes bereikt kunnen worden. De resultaten zijn uitgedrukt in % reductie, ten opzichte van de referentiesituatie waarin benzine wordt gebruikt als brandstof, en de grondstoffen elders worden gebruikt. De dikke balken zijn onze meest realistische schatting, de dunne balken geven de onzekerheid in de resultaten weer.



De verschillen zijn grotendeels terug te voeren op de compensatie van het grondstoffenverbruik. De nieuwe processen maken het mogelijk om ook minder hoogwaardige grondstoffen en suikers te verwerken. Deze kunnen door minder hoogwaardige producten worden vervangen, die met minder kunstmest en energiegebruik (en daarmee met minder broeikasgasemissies) kunnen worden geteeld. We gaan er in onze analyse vanuit dat de omgezette C6-suikers door extra tarweteelt moeten worden gecompenseerd, terwijl we omgezette C5-suikers door extra hooiproduktie (grasteelt) vervangen. Daarnaast wordt verwacht dat het ethanol productie proces energie-efficiënter wordt als ook de C5-suikers worden omgezet.

Wat de uitstoot van broeikasgassen betreft is de grootste winst van dit transitiepad daarom dat houtachtige grondstoffen kunnen worden verwerkt tot bio-ethanol. Deze grondstoffen kunnen relatief extensief worden geteeld, in vergelijking met de andere stromen die vrij veel kunstmest en landbewerking nodig hebben.

Gezien deze grote invloed van de compensatie op de resultaten bevelen we aan om nader uit te zoeken hoe de veevoermarkt precies werkt, en of de gekozen aanpak en aannames inderdaad juist zijn. Daarnaast bevelen we ook aan om de eventuele mogelijkheden voor optimalisatie van het energiegebruik in de bio-ethanol fabriek verder te bestuderen.

Bij fermentatie komt overigens ook zuivere CO₂ vrij. Als die kan worden verkocht aan bijvoorbeeld de glastuinbouw kan een deel van de CO₂ aan deze toepassing worden gealloceerd, en neemt de netto broeikasgas reductie van de bio-ethanol

toe. Hoeveel winst dit oplevert hangt af van de prijs die voor de CO₂ wordt betaald, bij 20 €/per ton wordt ca. 2% extra CO₂-reductie bereikt.

Bij deze berekeningen zijn we ervan uitgegaan dat ethanol benzine vervangt, op basis van gelijk energieverbruik (1 GJ ethanol vervangt 1 GJ benzine). Metingen laten echter zien dat het verbruik van ethanol onder bepaalde omstandigheden wellicht lager is dan van benzine. Precieze kennis daarover ontbreekt nog. Het verdient de aanbeveling om hier meer duidelijkheid over te krijgen aangezien bij een maximaal effect dit 10-15% CO₂ (gemeten naar km) rendementsverbetering van de LCA laat zien.

Overige duurzaamheidsaspecten

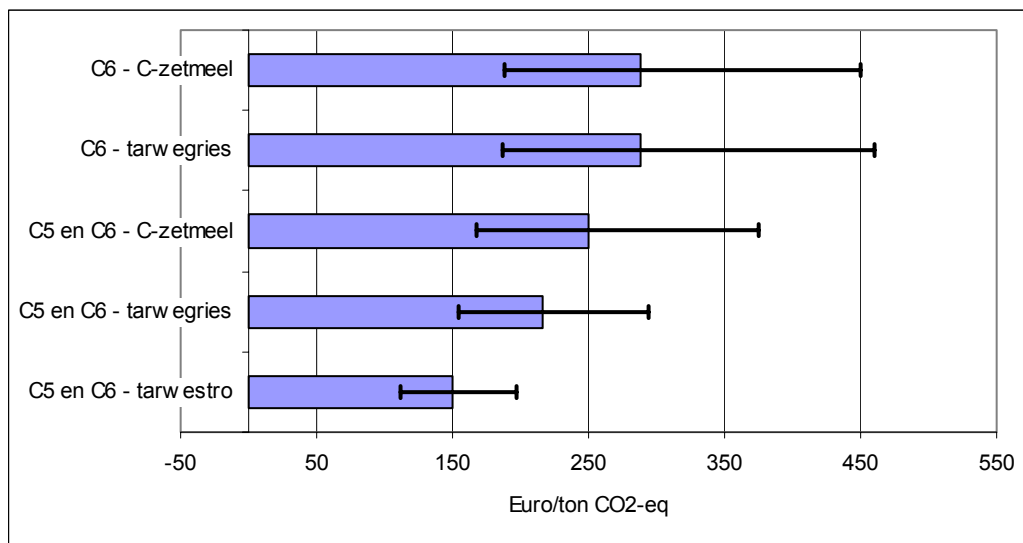
Kosten per ton vermeden CO₂-eq.

Het is de verwachting dat de prijs van bio-ethanol door de technologieontwikkeling en schaalvergroting van de huidige 0,45 -0,55 €/liter naar 0,20 – 0,35 €/liter zal dalen. Ter vergelijking: de prijs van benzine (zonder heffingen) ligt op dit moment rond de 0,35 €/liter. De kosten per ton vermeden CO₂-eq. zijn voor deze aannamen uitgezet in de figuren 2 en 3. In Figuur 2 zijn de resultaten gegeven voor de hoge (huidige) ethanolprijs, in Figuur 3 zijn de resultaten gegeven voor de lage (toekomstig verwachte) ethanolprijs.

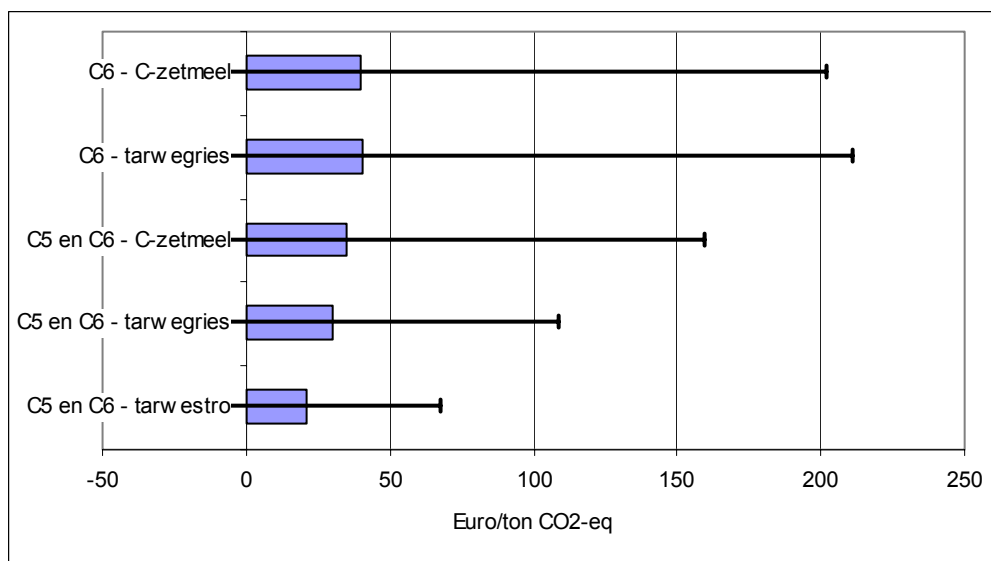
Deze figuren laten duidelijk zien dat de kosteneffectiviteit toeneemt naarmate de CO₂-reductie over de keten toeneemt, en dat de kosten van de ethanol ten opzichte van benzine sterk bepalend zijn voor de kosteneffectiviteit. Op dit moment zijn de kosten per vermeden ton CO₂-eq. ca. € 290. We verwachten dat de kosten per vermeden ton CO₂-eq met ca. 15-25% worden gereduceerd zodra de nieuwe technologie op grote schaal operationeel is (bij gelijkblijvende kosten en grondstoffen). Het omzetten van tarwestro kan de kosteneffectiviteit nog duidelijk verder verbeteren, vanwege de grotere CO₂-reductie die er mee kan worden bereikt. Deze stappen in de transitie zullen daarnaast naar verwachting ook zorgen voor een daling van de kosten voor ethanol, en daarmee de kosteneffectiviteit nog verder verbeteren.

Als zowel de kosten als ook de technologie zich ontwikkelen zoals we in deze studie verwachten zal de kosteneffectiviteit uiteindelijk uitkomen op ca. 20 tot 40 €/ton CO₂-eq, afhankelijk van de gebruikte grondstoffen.

Figuur 2 Kosten (in Euro) per gereduceerde ton CO₂-equivalent, bij de verschillende routes en een bio-ethanol prijs van 0,45-0,55 €/liter. De dikke balken is onze meest realistische schatting, de dunne balken geven de marge weer waarin we de resultaten verwachten.



Figuur 3 Kosten (in Euro) per gereduceerde ton CO₂-equivalent, bij de verschillende routes en een bio-ethanol prijs van 0,20-0,35 €/liter. De dikke balken is onze meest realistische schatting, de dunne balken geven de marge weer waarin we de resultaten verwachten.



Andere emissies

Als C-zetmeel of tarwegries als grondstof wordt gebruikt voor de bio-ethanol productie verwachten we dat de verzurende emissies toenemen, ten gevolg van de extra teelt van tarwe die dan nodig is. Voertuigemissies zullen waarschijnlijk niet significant veranderen bij een (evt. gedeeltelijke) overstap van benzine naar ethanol.

Ruimtegebruik

Bij verwerking van C-zetmeel, tarwegries en vergelijkbare producten worden er weliswaar reststromen gebruikt, maar is toch extra landbouwareaal nodig voor de compenserende teelt van veevoer. Verwerking van tarwestro of andere houtachtige reststromen zal veel minder ruimte in beslag nemen.

Daarnaast zal op termijn ruimte nodig zijn voor de teelt van houtachtige grondstoffen, zoals snel groeiende houtsoorten of grassen.

Ecologische en sociale aspecten in Nederland

Indien de bio-ethanol uit Nederlandse grondstoffen wordt geproduceerd krijgt de landbouwsector een extra afzetkanaal voor zijn (rest)producten, wat positieve gevolgen voor de werkgelegenheid in deze sector tot gevolg zal hebben. Daarnaast zal ook de bio-ethanol productie voor werkgelegenheid zorgen. Daarbij moet wel worden geconcurrereerd met buitenlandse leveranciers van grondstoffen en bio-ethanol.

Als bio-ethanol op termijn ook worden geproduceerd uit geteelde gewassen zal deze teelt waarschijnlijk niet in Nederland plaatsvinden, en dus geen ecologische of sociale effecten voor Nederland met zich meebrengen.

Ecologische en sociale aspecten bij import van biomassa

Op de langere termijn, als bio-ethanol een significant aandeel van de brandstoffenmarkt (of bio-ethyleenmarkt) in handen heeft, zullen er in elk geval grondstoffen of bio-ethanol worden geïmporteerd. Bovendien is dan wellicht ook teelt van (al dan niet houtachtige) biomassa attractief. De ecologische en sociale effecten van deze ontwikkelingen kunnen zowel positief als negatief zijn, afhankelijk van de specifieke omstandigheden en het (internationale) beleid dat op dit gebied wordt geïmplementeerd.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Ethanol uit biomassa is één van de zes transitiepaden waarvan de projectgroep Transitie Biomassa eind 2003 heeft geadviseerd om ze op te nemen in de Energietransitie. Bio-ethanol werd daarmee positief beoordeeld, en er werd verwacht dat marktgerichte experimenten de ontwikkeling verder kunnen brengen.

Nedalco BV heeft de intentie om, in samenwerking met enkele andere partijen, een dergelijk experiment uit te voeren. Het plan is om in het kader van de Unieke Kansen Regeling (UKR) van het ministerie van EZ een drietal aspecten van bio-ethanol verder te ontwikkelen:

- 1 Een maatschappelijk discussie rond deze toepassing van GMO's wordt opgezet en gevoerd.
- 2 Een technologisch experiment wordt opgezet waarin de omzetting van lignocellulosehoudend materiaal wordt gedemonstreerd.
- 3 De lange termijn organisatie en financiering wordt ontwikkelt en in kaart gebracht.

Bij de Transitie naar een Duurzame Energiehuishouding, waar de Transitie Biomassa deel van uitmaakt, speelt duurzaamheid uiteraard een centrale rol. Er zijn dan ook recentelijk beoordelingscriteria Duurzaamheid opgesteld waarmee de verschillende subsidieaanvragen bij UKR kunnen worden beoordeeld. Nedalco BV heeft daarom CE gevraagd om de verschillende duurzaamheidsaspecten van het transitiepad ethanol uit biomassa dat zij willen ontwikkelen in kaart te brengen. Centrale vragen die daarbij moeten worden beantwoord is hoe de toekomst van bio-ethanol eruit kan zien, in hoeverre bio-ethanol aan een duurzame energiehuishouding bij kan dragen, en wat de rol van het experiment is bij de verwezenlijking van dit potentieel.

1.2 Doel van dit rapport

De doelstelling van deze studie is om de duurzaamheid van het transitiepad bio-ethanol te beschrijven, conform het document 'Beoordelingcriteria Duurzaamheid' van de regeling UKR (versie 25.11.2004).

Het gaat voor bio-ethanol om de volgende duurzaamheidsaspecten:

- netto broeikasgasbalans;
- kosten per ton vermeden CO₂-eq.;
- andere emissies;
- ruimtegebruik;
- ecologische en sociale aspecten in Nederland;
- ecologische en sociale aspecten bij import van biomassa.

Daarnaast worden in het document enkele uitgangspunten aangegeven waar de berekeningen aan moeten voldoen:

- het belangrijkste uitgangspunt is dat we de *netto* effecten van de toepassing van bio-ethanol berekenen, ofwel het verschil tussen de milieubelasting mét en zonder de bio-ethanol;
- daarbij moet de gehele keten worden meegenomen, van een eventuele teelt van de biomassa tot en met het eindgebruik;
- bij gebruik van reststromen van de voedselindustrie moet er rekening gehouden worden met het feit dat deze reststromen anders bijvoorbeeld als veevoerder zouden dienen;
- in dat geval moet er dus extra veevoer worden geteeld, wat een milieubelasting met zich meebrengt die moet worden verdisconteerd in de berekeningen.

Als er sprake is van meerdere producten die uit een productieproces komen moet de CO₂-emissiereductie over deze verschillende producten worden gealloceerd op basis van de marktprijzen van de producten.

Meest zwaarwegend is de duurzaamheid in 2020 en 2040, in Nederland en daarbuiten. Daarnaast zal echter ook worden ingegaan op de duurzaamheid van het bio-ethanol productieproces nu, en op de rol die het experiment speelt in het verbeteren van de duurzaamheid van dit proces.

1.3 Aanpak

In dit rapport kunnen we niet één simpel antwoord geven op de vraag wat het effect is van het transitiepad bio-ethanol op de verschillende duurzaamheidscriteria. Het antwoord hangt af van de gebruikte grondstoffen, van de toepassing van de bio-ethanol én van de uitkomsten van de technologische ontwikkeling van het productieproces.

Bio-ethanol kan uit veel verschillende grondstoffen worden gemaakt, die elk weer andere eigenschappen hebben t.a.v. de hoeveelheid en het soort suikers dat ze bevatten. Omzetrendementen variëren dan ook per grondstof. Bijproducten van het bio-ethanol productie proces kunnen worden afgezet naar de veevoederindustrie, de waarde en eigenschappen ervan hangen ook af van de gebruikte grondstof. Daarnaast zijn er ook verschillende toepassingen van de bio-ethanol mogelijk. Het kan benzine vervangen, maar ook MTBE (een product dat aan benzine wordt toegevoegd), fossiele ethanol of ethyleen (beide grondstoffen voor de chemische industrie).

Zowel de CO₂-balans als ook de scores op de andere duurzaamheidsaspecten hangen van al deze factoren af. Gezien de grote range aan grondstoffen en toepassingen, én de onzekerheden in de technologie- en kostenontwikkelingen is het niet zinvol om in deze studie alle mogelijke varianten door te rekenen. We hebben ons daarom beperkt tot een drietal verschillende, representatieve grondstoffen: C-zetmeel, tarwegries en tarwestro.

Daarnaast beschrijven we van welke factoren het afhangt of dit potentieel wordt bereikt, en beantwoorden we vragen als: Welke grondstoffen leiden waarschijnlijk

tot een hogere milieuwinst dan andere? Welke rol speelt het experiment voor de duurzaamheid van het eindresultaat?
Zo kunnen we inzicht bieden in het transitiepad, en de waarde van het experiment.



2 De bio-ethanol transitie van Nr. One

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk beschrijven we hoe het transitiepad bio-ethanol er uit zou kunnen zien, als de technologische ontwikkelingen succesvol verlopen en er een markt voor de producten worden gecreëerd – ofwel doordat de kosten concurrerend worden, ofwel door overheidsstimulering of -regulering. Het pad start bij de huidige situatie, waarin bio-ethanol geproduceerd kan worden uit zetmeel- en suikerhoudende grondstoffen. Het eindigt bij de toekomstvisie, waarin bio-ethanol ook uit houtachtige grondstoffen kan worden geproduceerd, en op grote schaal wordt ingezet als klimaatneutrale (transport)brandstof en als grondstof in de chemische industrie. Gedurende dit traject nemen zowel de kosten van de geproduceerde ethanol als ook de CO₂-uitstoot over de productieketen geleidelijk af, en kan een groter arsenaal aan grondstoffen worden verwerkt. Bovendien neemt het rendement van de bestaande ethanolproductie toe, omdat een groter deel van de gebruikte biomassa kan worden omgezet.

In de volgende paragraaf beschrijven we kort wat voor processen daarvoor nodig zijn, en welke grondstoffen waarschijnlijk zullen worden gebruikt. We gaan daarbij ook in op de vraag welke producten door de bio-ethanol kunnen worden vervangen. Vervolgens geven we een concretere beschrijving van de bio-ethanol route, eerst van de korte termijn (paragraaf 2.3), daarna van de langere termijn (paragraaf 2.4). In de laatste paragraaf van dit hoofdstuk geven we een inschatting van het mogelijke tijdspad van deze ontwikkelingen. In de volgende hoofdstukken gaan we dan in op de gevolgen van deze transitie op de emissies van broeikasgassen, van luchtvervuilende emissies, ruimtegebruik etc..

2.2 De transitie in het kort

Processen en grondstoffen

De eerstkomende jaren kan bio-ethanol voor de transportsector grootschalig worden geproduceerd uit grondstoffen met gemakkelijk fermenteerbare suikers. Daarbij worden processen gebruikt die al duizenden jaren worden toegepast voor de productie van alcohol. De productie van bio-ethanol vereist wel wat aanpassing aan deze processen, met name extra stappen om het watergehalte ver terug te brengen, maar ook dat zijn bekende en bewezen technieken. De bio-ethanol die op deze wijze wordt geproduceerd kan daarom worden ingezet om aan de streefcijfers voor de EU biobrandstoffenrichtlijn te voldoen.

Maar deze bio-ethanol is nog relatief duur, vergeleken met fossiele brandstoffen, en de CO₂-winst over de gehele keten is nog beperkt tot ca. 50%. Het doel van het transitiepad bio-ethanol, en ook van het consortium Nr. One, is dan ook om deze processen verder te ontwikkelen zodat zowel de kosten terug worden gedrongen als ook de CO₂-reductie verbeterd worden. Deze nieuwe technologie moet in de toekomst op brede schaal ingezet kunnen worden.

De nieuwe, zogenaamde tweede generatie, bio-ethanol productie methode die daarvoor moet worden ontwikkeld gebruikt een nieuw proces, dat ook lignocellulose houdende (houtachtige) grondstoffen om kan zetten in ethanol. Hier ligt het grootste verbeterpotentieel. Als de verwachtingen uitkomen zullen aanzienlijk hogere omzettingsrendementen worden gehaald, tegen lagere kosten. Bovendien wordt het areaal aan grondstoffen dat kan worden gebruikt voor de bio-ethanol productie er verder mee uitgebreid. Het transitie experiment zal dan ook gericht zijn op het ontwikkelen en verbeteren van deze processen.

Een overzicht van de verschillende producten die in principe geschikt zijn voor bio-ethanol productie is gegeven in tabel 1. Deze producten komen vrij na verwerking van verschillende koolhydraatrijke gewassen.

Tabel 1 Koolhydraatrijke producten bij teelt en verwerking van veelgebruikte koolhydraatrijke landbouwgewassen. De secundaire producten bevatten ca. 60% suikers op droge stof. De secundaire producten van tarwe en maïs bevatten ook C5 suikers en cellulose, die in het huidige ethanolproces nog niet kunnen worden omgezet

Gewas	Primair	Secundair	Tertair	Separate oogst
Biet	Sacharose	Bietmelasse	Bietenpulp	Bietenblad
Suikerriet	Sacharose	Rietmelasse	Bagasse	Rietstro
Tarwe	Zetmeel/glucose	C-zetmeel/wet-fiber	Tarwegries	Tarwestro
Mais	Zetmeel/glucose	Maïsweekwater	Corn fiber	Corn stover

Bron: Nedalco

Deze gewassen worden al sinds jaar en dag geconverteerd naar zuivere, primaire producten die hun uitweg vinden naar de levensmiddelen industrie en als fermentatiegrondstoffen voor hoogwaardige producten als enzymen en fijnchemicaliën. Voor alcohol productie wordt sinds meer dan 100 jaar de secundaire producten gebruikt met een lagere zuiverheid. Heel ver weg denkend zal alcoholproductie uiteindelijk moeten kunnen plaatsvinden op basis van bomen en grassen, maar hiertoe zal technologie ontwikkeld moeten worden die hydrolyse en vergisting van cellulose en hemicellulose mogelijk maken. Op de weg daarnaar toe zal naar verwachting van de volgende grondstoffen gebruik worden gemaakt:

Transitie stap 1

Als eerste stap in het transitiepad worden de C5-suikers in de bestaande secundaire grondstoffen omgezet naar ethanol. Hiermee wordt het omzetrendement van het bestaande proces verhoogd. Deze techniek kan worden toegepast in de bio-ethanol fabriek (met een jaarproductie van 200 miljoen liter bio-ethanol). De tarwe- en maïsproducten C-zetmeel, wetfiber en maïsweekwater bevatten dergelijke C5-suikers, de melassesorten niet.

Transitie stap 2

Cellulose en hemicellulose zitten voor een groot gedeelte in de tertiaire producten van fabrieken die landbouwgewassen raffineert tot suikers en overige produc-

ten. Tot deze categorie behoren bietenpulp, bagasse, tarwegries en corn fiber. Het voordeel van deze stromen is dat ze al in grote hoeveelheden op de bestaande fabrieken vrijkomen.

Transitie stap 3

Op de wat langere termijn worden ook tarwestro, corn stover (maïsstro) en bietenblad interessant. Deze componenten vergen geen extra landbouwareaal en kunnen na een nieuw opgezet oogst- en logistiek-systeem gerealiseerd worden.

Transitie stap 4

Hierna komt pas energieteelt, hout en gras.

Het eindbeeld van dit transitiepad is dat zowel reststromen uit de landbouw- en voedingsmiddelenindustrie als ook energieteelt wordt ingezet voor de productie van bio-ethanol. Deze bio-ethanol vervangt vervolgens benzine als transportbrandstof, maar ook, na verwerking, andere producten zoals MTBE (een stof die aan benzine wordt toegevoegd), ethanol of ethyleen.

Toepassingen

Ook aan het eind van het proces is variatie mogelijk:

- de bio-ethanol kan benzine vervangen in verbrandingsmotoren;
- het kan worden toegepast in voertuigen met brandstofcellen;
- het kan omgezet worden in ETBE, een additief voor benzine dat MTBE kan vervangen;
- het kan fossiele ethanol vervangen die in de chemische industrie wordt ingezet;
- het kan worden omgezet in bio-ethyleen, en dienen als grondstof voor de chemische sector;
- ook kan uit dezelfde grondstoffen met een enigszins vergelijkbaar (fermentatie)proces waterstof worden geproduceerd, of kan waterstof uit bio-ethanol worden geproduceerd. Deze biowaterstof kan vervolgens als voertuigbrandstof worden gebruikt, of voor industriële toepassingen¹.

Bio-ethanol zou in principe ook kunnen worden gebruikt in de elektriciteitsvoorziening, maar aangezien de andere toepassingen hoogwaardiger zijn zullen we die toepassing in deze studie verder niet onderzoeken.

Op de korte termijn wordt vooral gedacht aan de productie van bio-ethanol voor vervanging van benzine of van MTBE. Het komende jaar wordt verwacht dat de overheid besluit om deze toepassingen financieel te stimuleren in het kader van de EU biobrandstoffen richtlijn (bijv. accijnskorting voor biobrandstoffen). Op de langere termijn zullen de verschillende mogelijkheden naar verwachting breder worden benut.

¹ De toepassing van deze biowaterstof in voertuigen achten we niet erg waarschijnlijk. We verwachten dat het goedkoper en efficiënter is om deze conversiestap te vermijden en de bio-ethanol zelf als voertuigbrandstof te gebruiken, evt. in combinatie met een on-board reformer.

2.3 Bio-ethanol op de korte termijn

2.3.1 Grondstoffen

Zowel de beoogde bio-ethanol fabriek als ook het experiment zullen gebruik maken van C-zetmeel. Het experiment zal daarnaast ook tarwegries gebruiken (schilletjes van de tarwekorrel die nu als ruwvoer worden verkocht) en tarwestro (de stengel van de tarwe). Dit zijn reststromen uit de tarweverwerkende industrie die representatief zijn voor de nieuwe grondstoffen die men in de toekomst tot bio-ethanol wil converteren.

2.3.2 Proces

De verschillende stappen die nodig zijn voor de productie van bio-ethanol uit suikerhoudende reststromen zijn schematisch weergegeven in Figuur 4. Dit schema is representatief voor de huidige generatie bio-ethanolfabrieken. Processen zijn geel weergegeven, de oranje pijlen stellen de gewenste producten voor. Water- en energiestromen hebben we niet in de figuur aangegeven, maar uiteraard wel meegenomen in de duurzaamheidsanalyse.

Dit proces levert, naast bio-ethanol, ook nuttige bijproducten op: TGC of vinasse. TGC staat voor Tarwegistconcentraat, een eiwitrijk bijproduct van fermentatie van tarweproducten, dat wordt gebruikt als veevoeder. Het eiwit is afkomstig van tarwe en gistcellen uit het fermentatieproces. Vinasses zijn een eiwitrijk bijproduct dat wordt geproduceerd tijdens de fermentatie van melasse. Vinasse wordt vervolgens gebruikt als veevoeder of meststof.

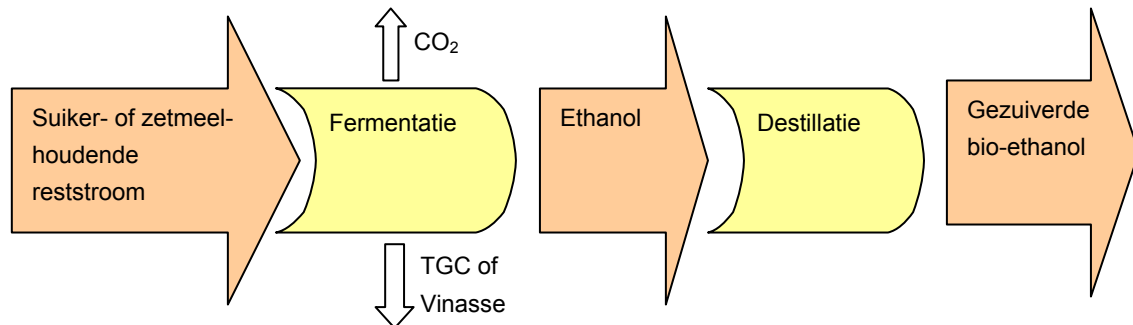
Voor de productie van bio-ethanol uit lignocellulose zijn een tweetal extra processtappen nodig, zoals te zien is in Figuur 5. Dit schema is van toepassing op het transitie experiment, en toekomstige productie van bio-ethanol zal naar verwachting dezelfde stappen volgen. De lignocellulose houdende materialen bevatten xylose en glucose die vergistbaar zijn voor de GMO gistcellen die door Nedalco/TU-Delft/Bird zijn ontwikkeld. Daarvoor is echter voorbehandeling nodig, waarbij de polymeren gehydrolyseerd worden tot monomeren. Deze voorbehandeling bestaat in het algemeen uit twee stappen, een chemisch fysische voorbehandeling, en enzymatische hydrolyse. Hier zijn een aantal routes voor in ontwikkeling bij verschillende bedrijven. Nedalco heeft nog geen besluit genomen over de route die zal worden gevolgd.

Als bij deze tweede route C-zetmeel en/of tarwegries wordt gebruikt als grondstof, is het bijproduct weer TGC. Het mineralen houdende bijproduct van de verwerking van tarwestro is echter niet geschikt om als veevoer te worden verwerkt. Het restproduct kan nog wel als meststof of bouwstof worden gebruikt, afhankelijk van de precieze samenstelling. De lignine die wordt afgescheiden kan worden verbrand, om elektriciteit te genereren. In het experiment wordt dit overigens nog niet voorzien.

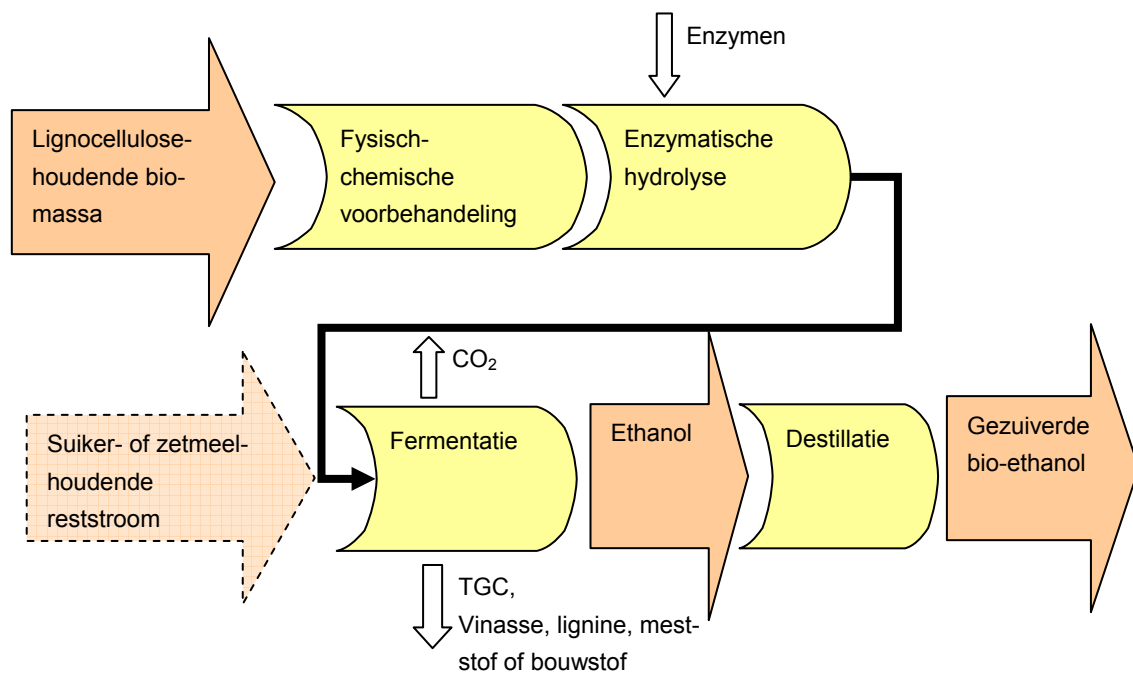
We gaan ervan uit dat zowel de grondstoffen voor de bio-ethanol (reststromen uit de suikerverwerkende en voedingsmiddelenindustrie) als ook de bio-ethanol zelf in Nederland worden geproduceerd. De bio-ethanol wordt vervolgens ook in Ne-

derland bij de benzine gemengd en verkocht. Er is dus geen import of grootschalig internationaal transport nodig van grondstoffen of eindproduct. Dit is de route die Nedalco de eerstkomende jaren wil volgen.

Figuur 4 Schema van het proces waarmee bio-ethanol wordt geproduceerd uit suiker- of zetmeelhoudende grondstoffen



Figuur 5 Schema van het proces waarmee bio-ethanol wordt geproduceerd uit lignocellulosehoudende biomassa. Eventueel kunnen in dit proces ook suiker- of zetmeelhoudende grondstoffen worden toegevoegd



2.3.3 Toepassingen

Het experiment is erop gericht om bio-ethanol te produceren die vervolgens aan de markt wordt aangeboden. Het is dan aan de klant om te bepalen voor welke toepassing de bio-ethanol wordt ingezet. Zoals eerder besproken verwachten we

de komende jaren vooral een markt voor bio-ethanol als benzinevervanger, en voor ETBE als vervanger van MTBE.

Vervanger van benzine

Daarbij wordt aangesloten bij het overheidsbeleid dat recentelijk doelstellingen heeft gesteld van 2% bijmengen in 2006, oplopend tot 5,75% in 2010. Welke percentages uiteindelijk daadwerkelijk worden bijgemengd zal afhangen van het stimuleringsbeleid dat daarvoor wordt ingezet.

Veel moderne voertuigen die nu benzine tanken kunnen ook zonder problemen benzine met deze lage percentages bio-ethanol tanken, bij oudere modellen is dat niet altijd bekend [Ecofys, 2003].

Daarnaast is het ook mogelijk om hogere aandelen bio-ethanol als brandstof te gebruiken. Daarvoor zijn echter aanpassingen nodig aan de motoren en tanks. Ford heeft voor deze toepassing speciale fuel flexible vehicles (FFV) ontwikkeld, die zowel op benzine als op ethanol kunnen rijden. Dergelijke auto's worden al verkocht in Zweden (Ford Focus fuel flexible vehicles), waar E85 kan worden getankt, een brandstof die voor 85% uit ethanol en voor 15% uit benzine bestaat. We verwachten dat deze brandstof in Nederland de komende jaren hooguit een nichebrandstof zal worden. Dergelijke niche toepassingen zijn wellicht wagenparken van bedrijven die een eigen E85-pomp kunnen beheren.

De toevoeging van bio-ethanol aan benzine in lage percentages vereist nog wel wat aanpassingen aan de samenstelling van de benzine. Het grootste probleem is dat de ethanol de dampspanning van de brandstof dan boven het wettelijk toegestane maximum verhoogt. Het is dan gebruikelijk om dit te verhelpen door het butaangehalte van de benzine te verlagen [Ecofys, 2003].

Vervanging van MTBE

Ook deze route sluit uit aan bij de biobrandstoffenrichtlijn, omdat ETBE (deels) ook als biobrandstof meetelt. Daarbij moet rekening worden gehouden met het feit dat ETBE deels uit isobutyleen, van fossiele oorsprong, wordt geproduceerd. 47 vol% van bio-ETBE mag als biobrandstof worden meegeteld.

Op dit moment wordt in Nederland MTBE als klopverbeteraar toegevoegd aan benzine. Klopverbeteraars worden toegevoegd om het octaangehalte van de brandstof te verhogen. MTBE wordt geproduceerd uit methanol en isobutyleen. Isobutyleen is een product uit de aardolie-industrie, dat vrij komt bij verschillende processen (onder andere stoomkraken en katalytisch kraken). Als alternatief voor methanol kan bio-ethanol als grondstof gekozen worden, waardoor de methylgroep in de ether een ethylgroep wordt: ETBE. ETBE vertoont eigenschappen die sterk lijken op MTBE. In sommige Europese landen (Frankrijk, Spanje, Italië) wordt ETBE op basis van bio-ethanol al aan benzine toegevoegd als klopverbeteraar.

Overigens kunnen deze klopverbeteraars niet ongelimiteerd aan benzine worden toegevoegd, omdat maximaal 15 vol-% ethers met vijf of meer C-atomen per molecuul aan benzine mag worden toegevoegd. Beide ethers bestaan uit respectie-

velijk 5 en 6 C-atomen per molecuul. In Frankrijk gaat men dan ook niet verder dan het door Europa gestelde limiet van 15 % bijmengen.

Er wordt niet verwacht dat op de korte termijn de bio-ethanol die in het kader van dit experiment wordt geproduceerd ook in andere toepassingen wordt ingezet.

2.3.4 Ketens die worden vervangen

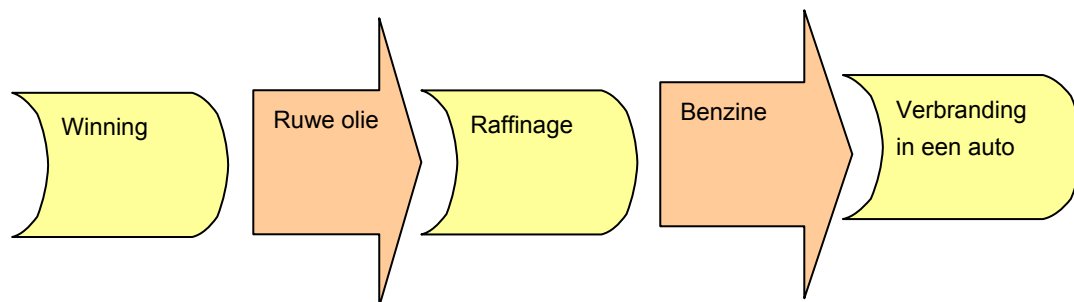
Als de bio-ethanol inderdaad wordt ingezet in de transportsector, zal dat gevolgen hebben voor maximaal drie andere producten:

- het zal benzine vervangen;
- het zal MTBE vervangen, na omzetting naar ETBE;
- grondstoffen worden gebruikt die anders een andere toepassing zouden krijgen (veevoer).

Vervanging benzine

De benzineroute is schematisch weergegeven in figuur 3. Bij deze keten is er in sommige gevallen veel transport en distributie, die ook moet worden meegenomen in de berekening van de effecten op duurzaamheid.

Figuur 6 Schema van de benzineketen, van winning tot verbranding in de auto



Vervanging MTBE

Bio-ETBE op basis van bio-ethanol kan worden ingezet als vervanger van MTBE, dat in Nederland geproduceerd wordt in het Botlekgebied op basis van aardolie. Beide productieprocessen lijken veel op elkaar. Energieconsumptie, CO₂-emissies en productiekosten van beide stoffen zijn nagenoeg gelijk. Ook de eigenschappen van de beide stoffen laten veel gelijkenis zien, zie tabel 2 [Ecofys, 2003].

Tabel 2 Eigenschappen ETBE en MTBE

	MTBE	ETBE	benzine
RON ¹	118	118	92-98
Reid Vapour Pressure (kPa) ²	55	28	70-100
Kookpunt (°C) ³	55	72	26-230

¹ RON = research octane number, een maat voor de klopvastheid van de brandstof

² Reid Vapour Pressure is de dampspanning van de brandstof, gemeten volgens een bepaalde standaard procedure

Uit de lagere dampspanning blijkt weliswaar dat ETBE minder vluchtig is dan MTBE, maar beide stoffen zijn minder vluchtig dan de vluchtigste componenten uit benzine. Daarnaast zijn verdampingsemissies uit voertuigen tegenwoordig geen milieuprobleem meer².

Voor de berekening van de netto duurzaamheidsbalans zijn twee punten belangrijk:

- de verschillen tussen productieprocessen van bio-ethanol en methanol uit aardolie;
- een gelijke hoeveelheid isobutyleen levert ongeveer 15% meer ETBE op dan MTBE.

Omdat beide stoffen dezelfde klopeigenschappen bezitten betekent dit laatste dat de milieubelasting van isobutyleen in het eindproduct in het geval van ETBE iets lager is dan van MTBE. Dit ondanks de enigszins hoger verbrandingswaarde van MTBE.

Alternatief gebruik grondstoffen

De bio-ethanol productie in het experiment zal gebruik maken van C-zetmeel, tarwegries en tarwestro. Deze producten komen als reststromen (afvalstromen) vrij bij tarweverwerking. Als deze reststromen niet door de bio-ethanol fabriek zouden worden verwerkt zouden ze worden verwerkt tot veevoeder. In de duurzaamheidsanalyse moet daarom rekening worden gehouden met de teelt van extra, liefst vergelijkbaar veevoer.

2.4 Bio-ethanol in 2020 en 2040 (de transitie)

2.4.1 Grondstoffen

Als de technologische ontwikkeling inderdaad leidt tot grootschalig toe te passen processen waarmee ook cellulose en hemicellulose kunnen worden omgezet, zullen de vier transitie stappen die we in paragraaf 2.2 hebben opgesomd worden afgelopen. Dan kan bio-ethanol worden geproduceerd door C5 en C6 suikers om te zetten uit alle gangbare koolhydraatrijke grondstoffen en reststromen, en kan ook speciaal geteelde, lignocellulose houdende biomassa worden omgezet.

² Verdampingsemissies zijn in 2001 een factor 10 minder dan in 1988.

Het eindbeeld van dit transitiepad is dan ook dat zowel reststromen uit de landbouw- en voedingsmiddelenindustrie als ook biomassateelt wordt ingezet voor de productie van bio-ethanol. Welke grondstoffen precies worden gebruikt zal afhangen van de prijzen op dat moment (en de prijzen die klanten voor bio-ethanol willen betalen).

2.4.2 Proces

Naar verwachting ziet het proces van bio-ethanol productie er in 2020/2040 net zo uit als in het experiment, zoals weergegeven in Figuur 5 in paragraaf 2.3.2. Uiteraard is de schaal van een fabriek aanzienlijk groter dan van het experiment, wat ten goede komt aan de rendementen en kosten.

Daarnaast zal in een full-scale productieproces het bijproduct lignine, dat vrijkomt bij het verwerken van houtachtige grondstoffen zoals tarwestro, nuttig worden gebruikt voor de elektriciteitsvoorziening van de bio-ethanolfabriek. Er wordt verwacht dat met deze reststroom de volledige elektriciteitsbehoefte kan worden gedekt, en een overschot aan het net kan worden geleverd.

2.4.3 Toepassingen

Het is goed mogelijk dat bio-ethanol in de toekomst voor alle eerder genoemde toepassingen wordt ingezet:

- de bio-ethanol kan benzine vervangen in verbrandingsmotoren;
- het kan worden toegepast in voertuigen met brandstofcellen;
- het kan omgezet worden in ETBE, een additief voor benzine dat MTBE kan vervangen;
- het kan fossiele ethanol vervangen die in de chemische industrie wordt ingezet;
- het kan worden omgezet in bio-ethyleen, en dienen als grondstof voor de chemische sector;
- er wordt ook gewerkt aan de productie van biowaterstof uit ethanol, die zou kunnen worden gebruikt in voertuigen maar ook voor industriële toepassingen kan worden ingezet.

Vervanging van benzine en MTBE

De toepassing van bio-ethanol als vervanger van benzine en/of MTBE is al besproken in paragraaf 2.3.3. Desondanks zijn de mogelijkheden voor deze toepassing op de lange termijn aanzienlijk groter dan op de korte termijn.

Bij de huidige verbandingsmotoren is het bijmengen van bio-ethanol bij benzine tot relatief lage percentages beperkt, en bij oudere voertuigen is niet alle bekend of bio-ethanol überhaupt mag worden bijgemengd. Het gebruik van E85, een brandstof die bestaat uit 85% bio-ethanol en 15% benzine, blijft daardoor beperkt tot auto's die speciaal daarvoor zijn gebouwd. Op korte termijn wordt verwacht dat E85 daardoor alleen interessant is voor enkele nichemarkten, bijvoorbeeld voor bedrijven of gemeenten met grote wagenparken, die een eigen pomp kunnen beheren.

Op de langere termijn is grootschalige toepassing van E85 wel mogelijk. Daarvoor is waarschijnlijk wel specifiek beleid nodig om de kip-en-ei situatie te doorbreken: zolang er weinig E85 voertuigen in Nederland rijden is het voor tankstations niet zinvol om E85 aan te bieden en mensen zullen deze voertuigen niet aanschaffen zolang de brandstof niet goed verkrijgbaar is. Zodra E85 echter overal beschikbaar is en het een financieel aantrekkelijke optie is, zou het in principe mogelijk zijn om binnen een paar jaar een flink deel van de fossiele brandstoffenmarkt te verdringen: bij een gemiddelde levensduur van personenauto's van ca. 14 jaar wordt elk jaar ca. 7% van het wagenpark vervangen.

Toepassing in brandstofcellen

Bio-ethanol kan worden omgezet in elektrische energie door middel van een brandstofcel, mits de ethanol vooraf (in de auto) wordt omgezet naar waterstof in een ethanol reformer. Dergelijke systemen zijn nog in ontwikkeling.

Het gebruik van bio-ethanol als energiedrager in plaats van waterstof biedt vooral voordelen om het veel eenvoudiger te transporteren en op te slaan is dan waterstof. Het kan gebruik maken van de bestaande infrastructuur voor transportbrandstoffen, en heeft ook vergelijkbare energie-inhoud³.

Bio-ethanol heeft een eenvoudigere molecuulstructuur dan benzine of diesel, deskundigen verwachten daarom dat ethanol reformers eenvoudiger te ontwikkelen zullen zijn dan reformers voor de huidige fossiele brandstoffen.

Bij deze toepassing kan bio-ethanol in principe alle soorten fossiele brandstoffen vervangen: benzine, diesel, kerosine, etc. Het zou daarnaast ook een concurrent kunnen worden van waterstof die wellicht in de toekomst ook geschikt kan worden als transportbrandstof.

Vervanging van fossiele ethanol

Ethanol is een reeds bestaande grondstof in de chemische industrie met o.a. toepassing in solventen. Een groot deel ervan berust nog op petrochemie, en zou zonder problemen kunnen worden vervangen door bio-ethanol.

Vervanging van ethyleen

Bio-ethanol kan ook worden omgezet in bio-ethyleen (ecotheen). Ethyleen (etheen) is de grootste bulkgrondstof voor de chemische industrie, waaruit verdere producten worden gemaakt: polyethyleen, styreen, glycol wasmiddelen, etc. Het volume van deze markt is overigens vele malen groter dan het potentiële aanbod aan bio-ethyleen.

2.4.4 Ketens die worden vervangen

Afhankelijk van de toepassingen voor de bio-ethanol worden andere producten vervangen. Deze productketens moeten goed in kaart worden gebracht om het netto effect van de bio-ethanol op de duurzaamscriteria te bepalen.

Hetzelfde geldt voor de grondstoffen die worden gebruikt. Als de grondstoffen anders als veevoer worden gebruikt moet nu extra veevoer worden geteeld.

³ De energie-inhoud is wel lager dan van benzine en diesel, maar daar staat bij deze toepassing tegenover dat het rendement van brandstofcellen hoger is dan van verbrandingsmotoren. De gevolgen voor de actieradius op 1 volle tank zijn dus beperkt, of misschien zelfs positief.

Als er sprake is van energieteelt zou de grond anders voor andere toepassingen worden gebruikt (bijv. voor de voedselteelt of bos), die andere emissies tot gevolg zouden hebben. Dit verschil moet ook worden meegenomen in de duurzaamheidsanalyse.

Vervanging benzine en MTBE

De ketens die bij deze toepassingen worden vervangen hebben we al eerder beschreven, in paragraaf 2.3.4.

Toepassing in brandstofcellen

Bij toepassing in brandstofcellen is het minder eenduidig welk ander product de bio-ethanol zal vervangen. Zoals in de vorige paragraaf toegelicht zou het benzine, diesel en kerosine kunnen vervangen, maar ook waterstof. Deze waterstof kan op zijn beurt weer worden geproduceerd uit een groot aantal energiebronnen, van fossiele of duurzame oorsprong.

Het lijkt ons dan ook niet erg zinvol om voor deze toepassing een duurzaamheidsanalyse op te stellen.

Vervanging van fossiele ethanol

Een deel van de ethanol markt wordt geproduceerd op basis van fossiele grondstoffen, in de petrochemie. Deze keten kan in principe worden vervangen door de bio-ethanol.

Vervanging van ethyleen

Ethyleen is een product van de petrochemische industrie. Het wordt gemaakt door pyrolyse (750-900°C) uit koolwaterstoffen in de aanwezigheid van stoom. Bij voorkeur gebruikt men ethaan of propaan maar ook mengsels zijn bruikbaar.

Alternatief gebruik grondstoffen

De bio-ethanol productie kan op de lange termijn gebruik maken van een grote verscheidenheid aan grondstoffen, variërend van zetmeel- en lignocellulose houdende reststromen uit de voedingsmiddelenindustrie en landbouw, tot snelgroeiende houtsoorten die speciaal voor de ethanolproductie worden geteeld (zie paragraaf 2.4.1). Al deze verschillende grondstoffen hebben andere eigenschappen, en zouden voor verschillende alternatieve toepassingen in aanmerking komen. De reststromen zouden deels waarschijnlijk als veevoeder kunnen worden verwerkt (van verschillende kwaliteit en waarde), deels zouden ze in elektriciteitscentrales kunnen worden verbrand. De grond waar eventueel energieteelt op plaatsvindt zou anders voor andere toepassingen in aanmerking komen, variërend van diverse vormen van landbouw (voor vee, voedsel- of andere energieteelt), natuur, etc.

In de duurzaamheidsanalyse kunnen we voor de langere termijn dan ook slechts in grote lijnen aangeven wat het effect is van het gebruik van de grondstoffen voor bio-ethanol productie.

2.5 Tijdpad van deze transitie

Uit de voorafgaande paragrafen blijkt dat het bio-ethanol transitiepad op de lange termijn in potentie veel verschillende grondstoffen kan omzetten, en veel verschillende producten kan leveren. Uit de duurzaamheidsanalyse in het volgende hoofdstuk zal blijken dat het te verwachten is dat de verschillende stappen van dit traject de duurzaamheid van het eindproduct (met name de CO₂-balans) zullen verbeteren.

In het volgende beschrijven we kort van welke factoren het af zal hangen of deze volle potentie wordt bereikt. Vervolgens geven we een inschatting van de termijn waarop de verschillende stappen in de transitie zouden kunnen worden gezet.

Bepalende factoren

Kort gezegd bepalen de prijs en beschikbaarheid van de verschillende bio-ethanol producten ten opzichte van de concurrerende fossiele producten de plek van bio-ethanol in de toekomst. Als bio-ethanol aan de pomp goedkoper wordt dan benzine zal het worden bijgemengd of als E85 worden aangeboden. Hetzelfde geldt voor ETBE vs. MTBE, en bio-ethyleen vs. fossiele ethyleen.

Deze prijs hangt vooral af van

- a De kosten van de grondstoffen die kunnen worden gebruikt.
- b De kosten en rendementen van het productieproces⁴.
- c Eventuele financiële steun (bijv. in de vorm van lagere heffingen of een subsidie).

Een alternatief scenario is overigens dat bio-ethanol (of afgeleide producten) een plaats op de markt veroveren door overheidsregulering, bijvoorbeeld door oliemaatschappijen te verplichten tot afzet van een bepaald percentage bio-ethanol.

Het is op dit moment lastig om de toekomstige kostenontwikkeling van de potentiële grondstoffen in te schatten. Het proces is geschikt om reststromen van de voedingsmiddelenindustrie te verwerken die anders slechts weinig waarde vertegenwoordigen. Het is op zich wel denkbaar dat de bio-ethanol route in de toekomst moet concurreren met andere duurzame energieroutes die van dezelfde biomassa reststromen gebruik willen maken. Als er echter geen andere nuttige bestemming wordt gevonden voor deze stromen verwachten we geen grote veranderingen in de prijs. De flexibiliteit van het proces heeft als voordeel dat dit transitiepad niet afhangt van de beschikbaarheid en (lage) kosten van één bepaalde grondstof. Als het transitie experiment succesvol verloopt wordt deze flexibiliteit verder vergroot, omdat bio-ethanol dan ook uit ligno-cellulose houdende materialen kan worden geproduceerd.

De kosten en het rendement van het productieproces hangen af van de technologische ontwikkelingen, waar het transitie experiment onderdeel van uitmaakt. Deze ontwikkelingen zijn er met name op gericht om de omzetrendementen van het proces te vergroten tegen minimale kosten. Daarnaast is te verwachten dat schaalvergroting van het proces ook de kosten zal verlagen.

⁴ Inclusief eventuele opbrengsten van bijproducten van het proces (TGC, vinasse, elektriciteit).

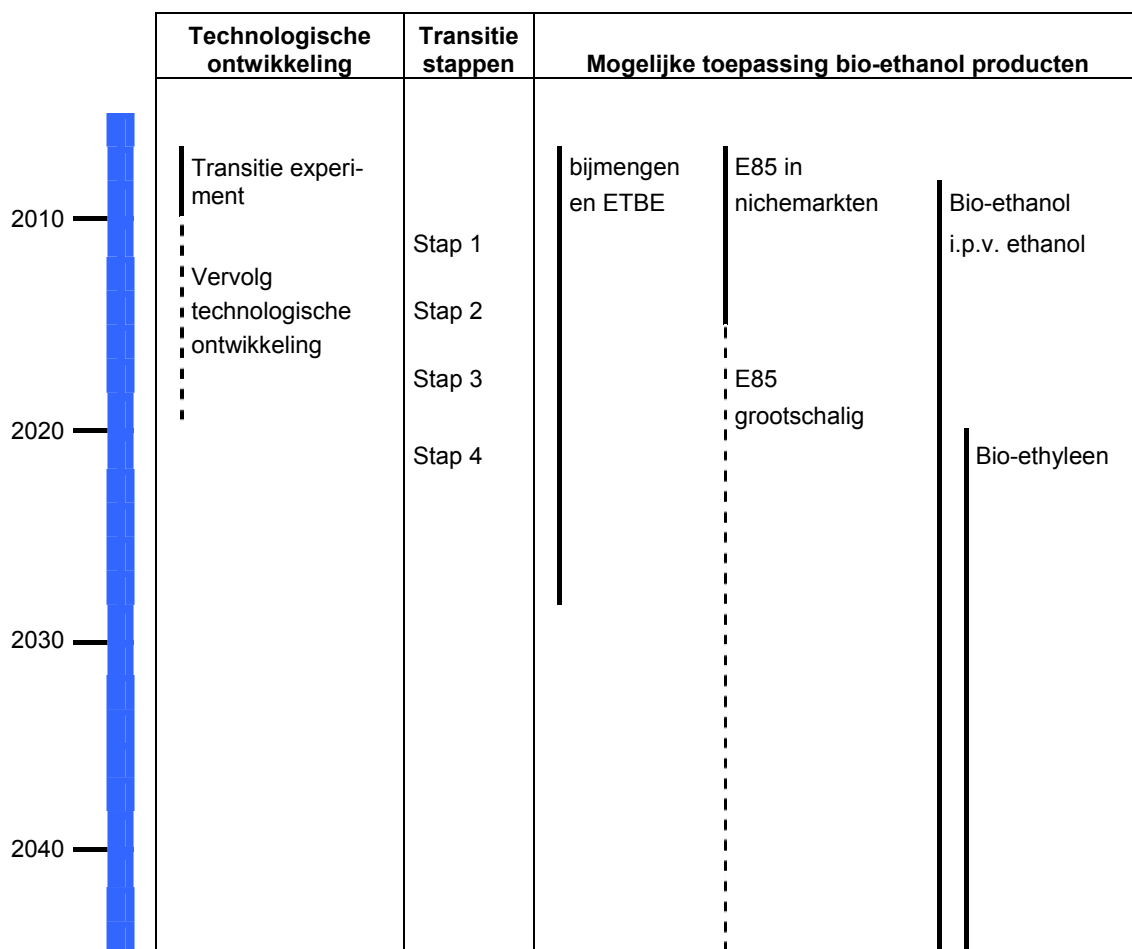
Op dit moment is uiteraard ook nog niet goed in te schatten wat de eventuele financiële steun voor bio-ethanol producten op termijn zou kunnen zijn. Op de korte termijn wordt gedacht aan een accijnsreductie op bio-ethanol en/of ETBE in de verkeerssector. Daar zien we dan ook als eerste een potentiële markt ontstaan. Op de petrochemische producten ethanol en ethyleen wordt geen accijns of andere heffing geheven, overheidsstimulering ligt bij deze producten dan ook minder voor de hand. In dat geval zal de industrie de bio-ethanol producten slechts toepassen als de kosten lager worden dan de fossiele tegenhangers. Op de langere termijn is natuurlijk niet uit te sluiten dat ook de petrochemie onder (politieke) druk komt te staan om fossiele producten te vervangen door producten uit biomassa, zoals dat op dit moment bij de transportbrandstoffen gebeurt.

Het tijdpad

In figuur 7 hebben we het tijdpad van dit transitiepad geschetst, zoals we dat nu voorzien. Zoals uit het bovenstaande blijkt hangt dit tijdpad echter sterk af van een aantal moeilijk te voorspellen factoren:

- de technologische ontwikkelingen (t.a.v. de omzetting van ligno-cellulose houdende grondstoffen en de kosten);
- de prijs van de fossiele concurrenten;
- eventuele overheidsstimulering van de producten.

figuur 7 Mogelijk tijdpad van het transitiepad bio-ethanol. In dit schema geven we de huidige inschatting van de mogelijkheden. De momenten waarop de transitiestappen worden bereikt en de markten voor de mogelijk toepassingen hangt in de praktijk sterk af technologie- en kostenontwikkelingen, en eventueel stimuleringsbeleid. In de kolom 'transitiestappen' hebben we de momenten aangegeven waarop we de commerciële toepassing van de nieuwe grondstof cq. de nieuwe technologie verwachten.



- ¹ De transitiestappen zoals beschreven in paragraaf 2.4.1:
- Stap 1: C5-suikers in de bestaande, secundaire grondstoffen omzetten naar ethanol.
 - Stap 2: Ook tertiaire producten als grondstof voor de bio-ethanol fabriek gebruiken (bijv. bietenpulp, bagasse, tarwegries, corn fiber).
 - Stap 3: Verwerking van reststromen met hoge aandelen hemicellulose, cellulose en lignine, zoals tarwestro, corn stover en bietenblad.
 - Stap 4: Verwerking van producten van energieteelt, zoals hout en gras.

Dit tijdpad is vooral een indicatie van de potentie van dit transitiepad: hoe zou de toekomst eruit kunnen zien als de technologische ontwikkelingen de komende jaren succesvol zijn en het bio-ethanol lukt om een plaats in de markt voor bio-brandstoffen te krijgen. De volgorde van de verschillende toepassingen is met meer zekerheid aan te geven, en zullen we hieronder nader toelichten.

Uit dit schema blijkt dat de verwachting is dat de technologische ontwikkeling nog een aantal jaren nodig heeft voordat de C5-suikers kunnen worden omgezet naar bio-ethanol, en ligno-cellulosehoudend materiaal kan worden verwerkt. Tot ca. 2012 zal deze technologie nog niet commercieel in een grootschalige installatie kunnen worden toegepast. Het tempo waarop de verdere transitiestappen dan

kunnen worden ingezet hangt vervolgens af van de technologische moeilijkheden die er dan eventueel nog blijken te zijn, van de kosten en eventuele overheidsstimulering.

Bio-ethanol uit reststromen is goedkoper dan uit energieteelt, vanwege de waarde van de primaire producten (waar de gewassen hoofdzakelijk voor worden geteeld). De verwachting is dat dit ook in de toekomst zo zal blijven. Het zal daarom nog wel enige tijd duren voordat energieteelt (transitie stap 4) een rendabele optie wordt voor de productie van bio-ethanol. Eerst zullen zoveel mogelijk reststromen worden verwerkt, en productiekosten worden gereduceerd (d.m.v. efficiëntere omzetting door technologische ontwikkeling, schaalvergroting, etc.). Wanneer dit moment is aangebroken is nu nog mogelijk te voorspellen, we verwachten dit echter niet voor 2020.

De gepresenteerde volgorde en timing van de marktintroductie van de verschillende toepassingen is gebaseerd op de volgende overwegingen. We gaan ervan uit dat de komende jaren het bijmengen van bio-ethanol bij benzine en het gebruik van ETBE i.p.v. MTBE financieel wordt gestimuleerd, en dat daarnaast E85 in enkele nichemarkten (wellicht proefprojecten) zal worden toegepast. Pas als bio-ethanol op grotere schaal geproduceerd wordt (doordat er meer fabrieken worden gebouwd, en er meer grondstoffen kunnen worden verwerkt) heeft het zin om E85 op grotere schaal in te zetten.

Wat de overige toepassing van bio-ethanol betreft is het de verwachting dat 'fossiele' ethanol uit de markt kan worden verdrongen zodra er grote bio-ethanol fabrieken in bedrijf zijn. Door de schaalvergroting nemen de kosten dermate af dat de bio-ethanol goedkoper wordt dan ethanol. Deze ontwikkeling heeft bijvoorbeeld al in de Verenigde Staten plaatsgevonden, waar bio-ethanol fabrieken staan.

Zodra bio-ethanol op grote schaal wordt geproduceerd kan ook bio-ethyleen worden gemaakt. Deze markt zal echter pas openbreken als de prijzen van bio-ethyleen concurrerend worden. Waarschijnlijk is ook daar financieel stimuleringsbeleid voor nodig, vergelijkbaar met dat in de transportsector (of een drastische verhoging van de prijzen van fossiele grondstoffen).



3 Netto broeikasgasbalans

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk gaan we in op één van de duurzaamheidsaspecten die genoemd zijn in [REF] en relevant zijn voor het transitiepad bio-ethanol: de netto broeikasgasbalans. De overige onderwerpen komen in het volgende hoofdstuk aan bod.

We kijken daarbij naar de verschillende mijlpalen op het transitiepad, om de ontwikkeling van de duurzaamheid te illustreren:

- **De huidige stand der techniek**, die wordt toegepast in een bio-ethanol fabriek die Nedalco op dit moment ontwikkelt (NB. er is nog geen besluit genomen of deze fabriek inderdaad wordt gebouwd). Hierin worden grondstoffen gebruikt die nu ook voor alcoholproductie worden ingezet: eenvoudig om te zetten suiker- en zetmeelhoudende reststromen uit de voedingsmiddelenindustrie.
- **Stap 1**: de situatie waarin de techniek die in het experiment wordt ontwikkeld wordt toegepast in de bio-ethanol fabriek, zonder de grondstoffen te wijzigen.
- **Stap 2**: inzet van tertiaire producten uit de suiker- en tarweverwerkende industrie, zoals bietenpulp, bagasse, tarwegries en corn fiber (naast de oorspronkelijke grondstoffen).
- **Stap 3**: toevoeging van overige restproducten, zoals tarwestro, corn stover en bietenblad.
- **Stap 4**: Energieteelt van hout en gras.

In de praktijk zullen de verschillende nieuwe grondstoffen die gedurende dit traject verwerkt worden waarschijnlijk niet de oude vervangen, maar worden ze toegevoegd aan de bestaande processen. Omdat elke grondstof een ander omzettingsrendement heeft, andere kosten en bijproducten met zich meebrengt, en deels ook andere processen nodig heeft, zal ook de broeikasgasbalans en de kosteneffectiviteit per grondstof (c.q. grondstoffenmix) variëren. Daarnaast hangen de uitkomsten van de duurzaamheidsanalyse af van de vraag of de grondstoffen reststromen zijn of speciaal geteeld worden, waarvoor ze anders zouden worden gebruikt en of ze nog over grotere afstand moeten worden getransporteerd (cq. geïmporteerd) worden of niet. De toekomstige grondstoffenmix zal afhangen van de marktprijzen en beschikbaarheid van de potentiële grondstoffen, en waarschijnlijk variëren over de tijd.

We doen in deze studie daarom geen concrete uitspraken over bijvoorbeeld de broeikasgasreductie die met bio-ethanol in 2020 of 2040 zal worden bereikt. We richten ons in de analyse op de specifieke reducties die bij de diverse grondstofsoorten kunnen worden behaald, als we kijken naar afzonderlijke ketens. Op deze manier bieden we inzicht in de potentiële duurzaamheidswinst die met de verschillende transitiestappen kan worden bereikt, en geven we ook een beeld van de voor- en nadelen van de verschillende grondstoffen en –processen.

We gaan daarbij uit van een drietal grondstoffen die representatief zijn voor de verschillende stappen:

- C-zetmeel, dat in de huidige situatie wordt gebruikt en waarvan na transitie-stap 1 ook de cellulose kan worden omgezet in bio-ethanol;
- tarwegries, dat na transitiestap 2 kan worden verwerkt, en
- tarwestro, een representatieve grondstof voor transitiestap 3.

Een volgende stap in de transitie is dat bio-ethanol wordt geproduceerd uit geteelde, snelgroeiende houtsoorten of grassen. De verwachte kosten en milieueffecten van deze grondstoffen zijn recentelijk onderzocht in [Gave, 2003b], en lijken sterk op die van tarwestro. Omdat Nedalco zich zeker de komende jaren met name richt op het gebruik van reststromen, hebben we deze optie verder niet onderzocht.

We beperken ons daarbij tot een analyse van de toepassing van bio-ethanol als benzinevervanger. Over andere toepassingen (ETBE, bio-ethyleen) is veel minder te zeggen, omdat er nog weinig bekend is van de broeikasgas emissies van processen die vrijkomen bij de productie van deze producten uit bio-ethanol en/of uit fossiele grondstoffen [GAVE, 2003a].

3.2 Methodiek berekening broeikasgasbalans

In dit hoofdstuk wordt een globale broeikasgasbalans opgesteld voor de drie door Nedalco overwogen grondstoffen voor bio-ethanol productie. De CO₂-balansen worden per grondstof uitgewerkt conform de in het kader van het Biomassa Transitie programma ontwikkelde concept methodiek [EZ, 2004].

Deze methodiek is gebaseerd op de LCA-methodiek⁵ en volgt onderstaand stramien:

- definitie van de functionele eenheid en afbakening van het systeem waarvoor de CO₂-balans moet worden opgesteld. Dit systeem omvat de situatie waarbij de bio-ethanol grootschalig wordt geproduceerd, maar ook de referentiesituatie, waarbij dat niet gebeurt⁶;
- berekening van de broeikasgas emissies in de verschillende onderdelen van het te beschouwen systeem;
- aggregatie van de broeikasgas emissies, met als resultaat de netto broeikasgasbalans, ofwel de broeikasgasreductie die wordt behaald per eenheid bio-ethanol.

De in deze analyse gehanteerde functionele eenheid is steeds 1 ton ethanol (EtOH). Er is uitgegaan van 1 ton met het oog op de industriële schaal van de activiteiten.

Daarnaast wordt er steeds uitgegaan van grootschalige productie van de bio-ethanol, van een schaal die vergelijkbaar is met de bio-ethanolfabriek die Nedalco overweegt te bouwen (met een jaarlijkse output van ca. 200 miljoen liter).

⁵ LCA = levenscyclus analyse, een veel toegepaste methodiek om milieueffecten van producten of processen te berekenen en onderling te vergelijken.

⁶ In de referentiesituatie wordt benzine gebruikt als brandstof, en hebben de grondstoffen van de bio-ethanolfabriek andere toepassingen, voornamelijk als veevoeder. De netto broeikasgasbalans is het verschil in broeikasgas emissies tussen de twee situaties.

In deze analyse hebben we het eventuele transport van biomassa naar de fabriek, en van bio-ethanol naar de afnemers niet meegenomen. Op de korte termijn zal Nedalco werken met reststromen uit de Nederlandse industrie, waardoor de emissies van dit transport zeer beperkt en daarom verwaarloosbaar zijn. Op de langere termijn is het niet ondenkbaar dat een deel van de grondstoffen zal worden geïmporteerd. Omdat we hier echter geen analyse hebben uitgevoerd naar de waarschijnlijke herkomst van de biomassa kunnen we geen betrouwbare uitspraak doen over de gerelateerde transportemissies.

De gehanteerde afbakening en de bepaling van de broeikasgas emissies in de te beschouwen systemen worden behandeld in de paragrafen 3.3 en 3.4.

3.3 Afbakening

Bij de afbakening beschrijven we welke processen volgens ons zouden moeten worden beschouwd om te komen tot een representatieve CO₂-balans. Daarbij kunnen we de processen indelen in twee categorieën:

- direct aan productie van ethanol gerelateerde processen;
- indirect aan die verwerking gerelateerde processen.

De direct aan ethanol gerelateerde processen betreffen ethanol productie, de verwerking of toepassing van ethanol en de bij ethanol productie geproduceerde bijproducten. Ook relevant zijn de productie van energiedragers en chemicaliën, die worden geconsumeerd bij ethanol productie, zoals aardgas of zwavelzuur. In subparagraaf 3.3.1 wordt een overzicht hiervan gegeven. De vervangen producten worden kort beschreven in 3.3.2.

De indirect aan ethanol productie gerelateerde processen houden verband met de invloed die een initiatief als dat van Nedalco zal hebben op andere industriële en economische sectoren. De door Nedalco beoogde alternatieve grondstoffen hebben in het huidige economische systeem al een andere toepassing. Wegzuigen door Nedalco betekent dat in die andere toepassing een tekort aan input ontstaat, dat zal moeten worden opgevangen door bijvoorbeeld verhoogde productie of intensievere teelt van bepaalde landbouwgewassen. In subparagraaf 3.3.3 geven we aan welke indirecte effecten wij verwachten.

3.3.1 Het productieproces bij Nedalco

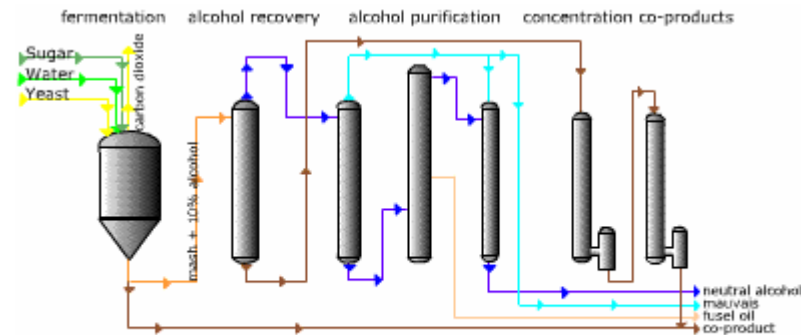
Beschrijving

Bij de bio-ethanol fabriek van Nedalco zullen de in de grondstoffen aanwezige complexe suikers grotendeels worden omgezet in ethanol (EtOH) geschikt voor inzet als voertuig brandstof met een zuiverheid van 99,5%.

De complexe suikers in het plantaardige materiaal worden eerst enzymatisch afgebroken tot glucose en andere eenvoudige suikers. De eenvoudige suikers worden vervolgens in een tweede stap fermentatief omgezet in ethanol. Daarbij komt CO₂ vrij en wordt water geconsumeerd. Met de huidige gisten die gebruikt

worden voor ethanol productie kunnen alleen C6 suikers worden gefermenteerd (glucose, fructose, sucrose, maltose, mannose). Met de nieuw ontwikkelde (genetisch gemodificeerde) giststammen kunnen ook C5-suikers worden omgezet met xylose als voornaamste voorbeeld. Omzetting van complexe suikers en fermentatie gebeuren bij verhoogde temperatuur. De daarvoor benodigde warmte wordt bijvoorbeeld geleverd in de vorm van restwarmte van ethanol destillatie of andersom.

Figuur 8 Schematische weergave van het ethanol productieproces



Bij tarwestro en andere houtachtige materialen is extra voorbehandeling nodig omdat de suikers grotendeels zijn ingesloten in de structuur van het plantaardige materiaal. Om de suikers voor fermentatie beschikbaar te krijgen wordt de structuur van het plantaardige materiaal afgebroken door de lignine op te lossen met behulp van zwavelzuur. Dit proces is vergelijkbaar met de behandeling van hout bij pulpproductie. Overblijvend zwavelzuur wordt met kalkmelk ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) en mogelijk ook NH_3 geneutraliseerd.

De bij fermentatie gevormde ethanol worden middels destillatie en concentratie van bijproducten gescheiden. De daarbij geproduceerde ethanol heeft vanwege de vorming van een zogenaamd azeotropisch mengsel een maximale zuiverheid of sterkte van 95% - 96%. Voor toepassing van ethanol als voertuig brandstof of grondstof voor de chemische industrie is echter een zuiverheid van minstens 99,5% nodig. Deze sterkte kan in de nieuwe fabriek worden gehaald door de bij destillatie van de ruwe ethanol geproduceerde dampmengsel van ethanol en waterdamp middels een membraan, damppermeatie of een andere techniek in de gasfase te scheiden in de twee aparte componenten.

Warmte voor destillatie wordt geleverd in de vorm van stoom. Ethanol en bijproducten worden met elektrische pompen verpompt.

De resterende suikers, assen, eiwitten en andere restanten kunnen bij C-zetmeel en tarwegries in principe worden afgezet als een eiwitrijke ingrediënt voor mengvoeders voor de veeteelt. Indien een GMO giststam wordt gebruikt dan zal deze gist in dode vorm in het eiwitrijke bijproduct van bio-ethanol productie aanwezig zijn. Mits dit maatschappelijk en voor afnemers acceptabel is en mits de veilig-

heidsvoorschriften voor de veehouderij, levensmiddelen en wat dies meer zij dit toelaten.

Bij verwerking van tarwestro blijft een restproduct over dat zal worden verbrand, zoals ook gebeurt in de pulpindustrie. Met de vrijkomende energie kan meer dan voldoende elektriciteit worden opgewekt om de elektriciteit behoefte van het eigen proces te kunnen dekken. Het overschot wordt aan het net geleverd, waardoor minder elektriciteit door het elektriciteit productiepark hoeft te worden geleverd.

Relevante processen

De voor ethanol productie relevante energiedragers en chemicaliën zijn, zoals uit de procesbeschrijving blijkt:

- elektriciteit;
- stoom;
- zwavelzuur;
- kalkmelk ($\text{Ca}(\text{OH})_2$).

In deze studie is aangenomen dat de voor ethanol productie benodigde stoom in het geval van C-zetmeel en tarwegries wordt geproduceerd met een gasturbine met een op de warmtevraag gedimensioneerde afgassenketel.

Aangenomen is dat de voor de verwerking van tarwestro gebruikte zwavelzuur wordt geproduceerd op basis van secundaire zwavel, zoals die bijvoorbeeld vrijkomt bij raffinaderijen. Productie van zwavelzuur gebeurt door verbranding van de zwavel en katalytische omzetting van de geproduceerde SO_2 in water oplosbare SO_3 . De daarbij vrijkomende warmte wordt gebruikt voor elektriciteitsproductie. Een overschot aan elektriciteit wordt aan het openbare net geleverd.

Over de productie van kalkmelk is ons onvoldoende bekend, deze hebben we daarom niet in de analyse mee kunnen nemen.

3.3.2 Vervangen producten

Om de netto broeikasgasbalans te bepalen moeten we ook kijken naar de situatie waarin er geen ethanol wordt geproduceerd, de referentiesituatie. We gaan er van uit dat de uit C-zetmeel, tarwegries en tarwestro geproduceerde ethanol benzine (geproduceerd uit aardolie) in verkeer en vervoer vervangt. Daarnaast kan de bio-ethanol ook worden ingezet in de chemische industrie, als vervanger van fossiele ethanol of, na verdere verwerking, als bio-ethyleen, maar daar kijken we in deze analyse verder niet naar.

Levering aan het net van het overschot aan geproduceerde elektriciteit bij verwerking van tarwestro vervangt productie van elektriciteit door het centrale productiepark aan energiecentrales.

3.3.3 Indirect gerelateerde processen

De door Nedalco te verwerken C-zetmeel, tarwegries en tarwestro hebben in het huidige economische systeem ook al één of meerdere toepassingen. Als deze stromen door de ethanol productie van de markt worden gehaald zal dat moeten worden gecompenseerd door verhoogde productie van grondstoffen of landbouw gewassen in andere economische sectoren.

In het volgende geven we aan uit welke toepassingen de drie grondstoffen volgens onze inschatting zullen worden onttrokken en welke producten in verhoogde mate zullen moeten worden geproduceerd om dit te compenseren.

Huidige toepassing

Volgens de informatie gevonden op de website van het Productschap Diervoeder wordt tarwezetmeel toegepast in varkensbrij (zie bijv. [Beuker], [Agriholland] en [Vis, 2003]). We nemen aan dat het zetmeel – gezien het bescheiden gehalte aan proteïnes – daarin vooral dient als energieleverende component. Het zal daarbij niet gaan om puur en hoogwaardig tarwezetmeel, maar om goedkopere reststromen.

Tarwegries wordt eveneens gebruikt in mengvoeders als energieleverende component (het zetmeel dat erin zit) maar voornamelijk dient het als ‘drager’ voor het drogen van veevoeder componenten toevoegingen [Vis, 2003].

Tarwestro wordt gebruikt

- als strooisel in de stallen;
- als vorstbescherming in de bloembollen teelt;
- als bodem voor champignonteelt;
- als structuurrijk ruwvoer aan jong-/vleesvee, paarden en schapen.

Vervangers voor de grondstoffen

Als Nedalco deze producten voor de productie van bio-ethanol gebruikt zal – bij een gelijkblijvende vraag naar ruwvoer en mengvoeders – leiden tot een tekort aan grondstoffen voor mengvoeders en ruwvoer. Dit tekort zal conform de gangbare LCA-methodiek moeten worden opgevuld middels ‘primaire productie’ van een vergelijkbare grondstof.

We hebben in het kader van deze analyse slechts een korte verkenning uit kunnen voeren naar de mogelijke alternatieven voor de gebruikte grondstoffen. Onze inschatting is dat de compensatie op de volgende manier zou gebeuren:

- het omgezette zetmeel in C-zetmeel en tarwegries zal worden vervangen door tarwe;
- de omgezette (hemi)cellulose in C-zetmeel en tarwegries zal worden vervangen door hooi;
- tarwestro zal worden vervangen door hooi.

We gaan er voor omzetting van de gemakkelijke suikers (zetmeel) dus vanuit dat ter compensatie graan moet worden geteeld. Dit is in lijn met het uitgangspunt dat het aanbod van andere als energieleverende component in mengvoeders

toegepaste bijproducten en reststromen uit de voeding- en genotmiddelenindustrie niet zal veranderen. Elk tekort moet daarom met primaire productie (teelt) worden gecompenseerd. Onze inschatting dat tarwe zal worden ingezet als energieleverend diervoeder in plaats van de zetmeel uit C-zetmeel en gries is gebaseerd op het gegeven dat beide restproducten uit tarwe zijn gebaseerd en tarwe dus deels uit dezelfde ingrediënten bestaat als de voor bio-ethanol beoogde bijproducten. Bovendien blijkt uit de graanbalans voor Nederland [PDV] dat tarwe met een afzet van 1,7 Mton/jaar de belangrijkste graansoort voor diervoeder toepassingen is. Belangrijker dan maïs, waarvan 1,1 Mton/jaar wordt ingezet.

Hemicellulose en cellulose zijn minder goed verteerbaar, en mede daardoor minder hoogwaardige producten voor mengvoeders. We hebben het gebruik van deze stoffen daarom gecompenseerd met de teelt van hooi.

Voor tarwestro gaan we uit van een verhoogde productie van hooi. Deze aanname is gebaseerd op het gegeven dat er voor tarwestro in bloembollenteelt en champignonteelt geen reële alternatieven zijn, terwijl stro als stalstrooisel het goedkoopste materiaal is en daardoor ook weinig concurrentie van andere potentiële alternatieven ondervindt. We verwachten daarom dat Nedalco geen stro vanuit die toepassingen zal kunnen onttrekken. De waarschijnlijk enige realistische optie waaruit wel tarwestro kan worden onttrokken is toepassing als structureel ruwvoer. Het enige ons bekende alternatief daarvoor is hooi.

Mede vanwege de grote invloed die deze keuze heeft op het eindresultaat van de analyse bevelen we aan om deze aanpak nog verder te verifiëren en eventueel aan te passen.

Compensatie voor hogere eiwitproductie

C-zetmeel en tarwegries worden in het huidige economische systeem toegepast als energierijke voedingsstoffen in de veeteelt. Beide producten bevatten echter ook eiwitten, die eveneens ten goede komen aan het vee en worden omgezet in melk, vlees en eieren.

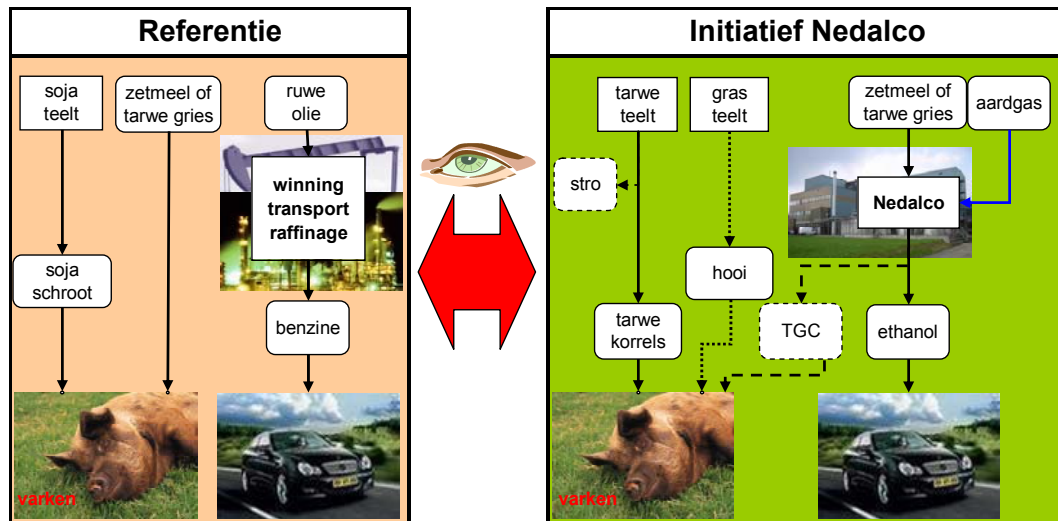
Bij het verwerken van gries en C-zetmeel tot ethanol komen de eiwitten uit deze grondstoffen echter ook beschikbaar, in een geconcentreerd bijproduct (TGC) met een hoog eiwit gehalte. Dit product, dat ook bij de huidige productie van alcohol vrijkomt, kan in de veehouderij worden afgezet als eiwit leverancier.

De tarwe die in Nederland wordt gebruikt als veevoeder bevat echter ook eiwitten, circa 10%. Vervanging van C-zetmeel en tarwegries door tarwe - terwijl ook de eiwitten uit deze producten beschikbaar blijven voor de veehouderij - zou daarom het leveren van extra eiwitten aan de veehouderij ten opzichte van het huidige economische systeem betekenen. Om een zuivere vergelijking te kunnen maken hebben we aangenomen dat de verhoogde input in de economie van eiwitten uit tarwe en tarwe producten leidt tot een lagere afzet van andere eiwitten. Onze inschatting is dat met name soja schroot - het belangrijkste eiwit leverende product voor de veehouderij in de huidige economische situatie - zal afnemen.

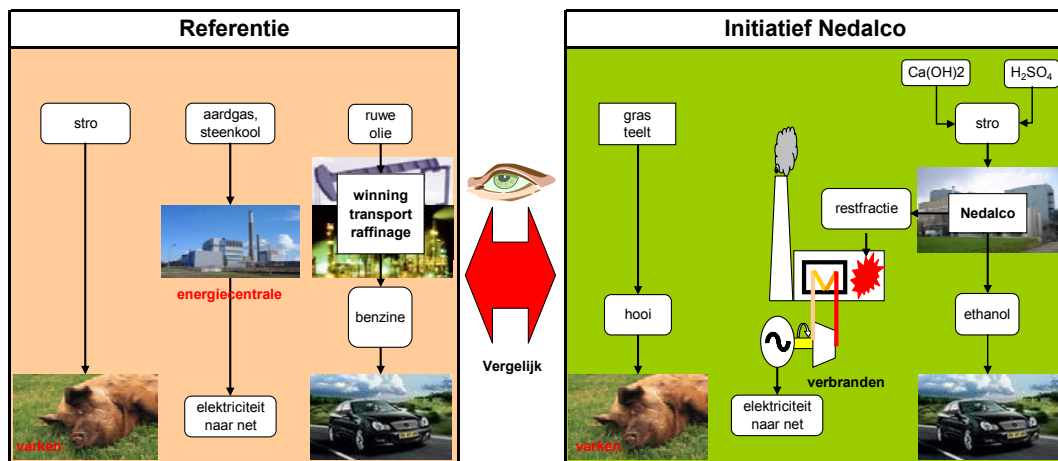
3.3.4 Resulterende afbakening

In figuren 9 en 10 geven de in de CO₂-balans beschouwde resulterende systemen. Met 'referentie' wordt het huidige situatie bedoeld, waarin C-zetmeel, tarwegries en tarwestro worden ingezet als veevoeders.

Figuur 9 Te beschouwen systemen bij verwerking van C-zetmeel en tarwegries tot bio-ethanol. Grasteelt is alleen nodig bij toepassing van de te ontwikkelen techniek, als ook de C5 suikers worden omgezet.



Figuur 10 Te beschouwen systemen bij verwerking van tarwestro tot bio-ethanol



3.4 De gegevens voor berekening van de broeikasgasemissies

Bepaling van de broeikasgas emissies in de drie beschouwde systemen volgt het volgende stramien:

- bepaling van de massabalans, verbruiken aan chemicaliën, grondstoffen en energiedragers per functionele eenheid (1 ton EtOH);
- bepaling van de specifieke broeikasgas emissies per eenheid energiedrager, hulpstof of grondstof;

- combinatie van massabalans en specifieke emissies tot emissies per functionele eenheid bio-ethanol.

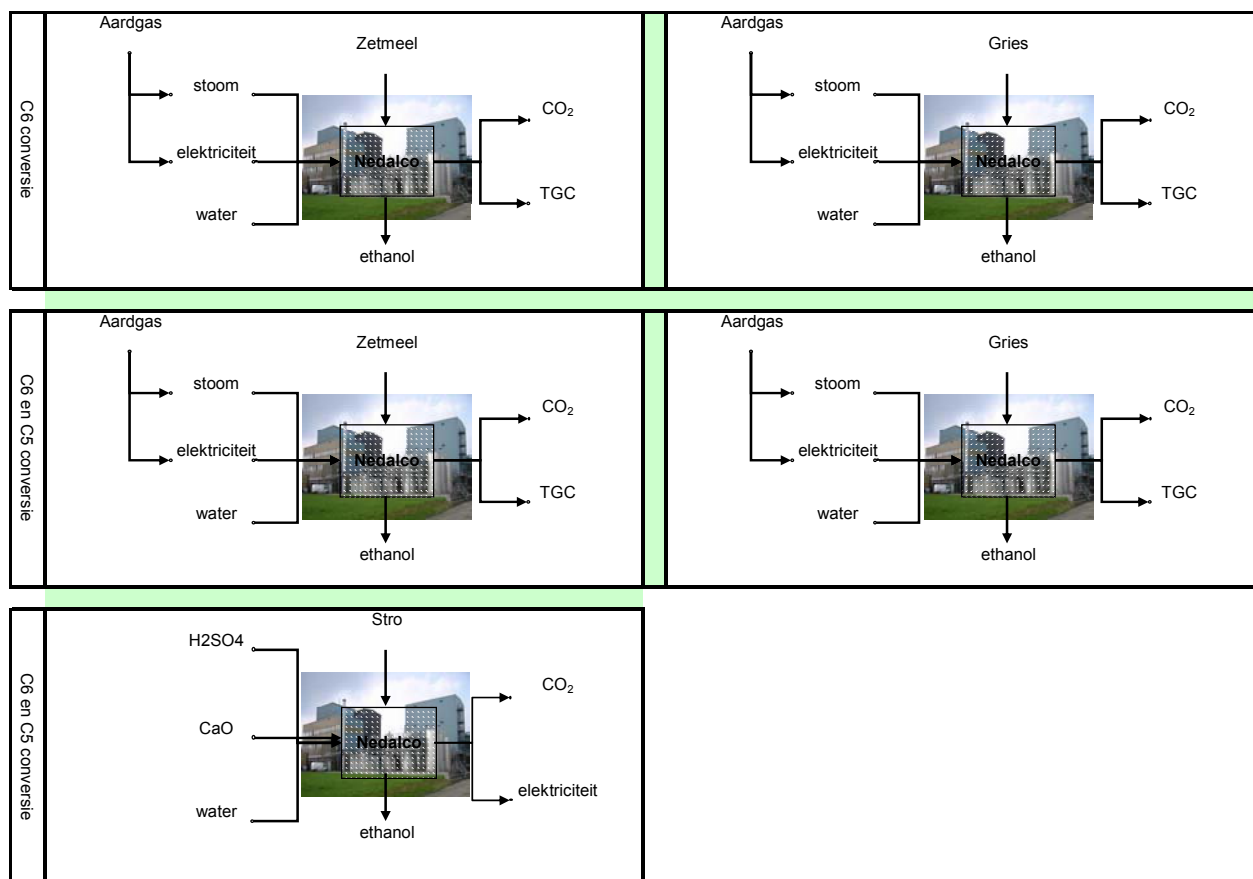
Deze onderwerpen worden hieronder in aparte subparagrafen behandeld.

3.4.1 Massabalans en verbruiken van energiedragers en chemicaliën

Bio-ethanol productie

De massabalansen van het bio-ethanol productieproces zijn voor de drie verschillende grondstoffen en de twee technologische ontwikkelingsstadia schematisch weergegeven in Figuur 11. De hoeveelheden (grondstoffen, emissies, aardgasgebruik) staan in de (vertrouwelijke) bijlage A.

Figuur 11 Schematische voorstelling van de massa- en energiestromen voor de verschillende routes voor ethanol productie. In de eerste rij de massabalansen bij de huidige stand der techniek, met C-zetmeel en tarwegries als grondstof. In de tweede rij dezelfde grondstoffen met de nieuw te ontwikkelen technologie, waarmee ook de C5 suikers worden omgezet. In de derde rij de massabalansen van tarwestro als grondstof



Uit de data blijkt dat met de huidige techniek (alleen conversie van de C6 suikers) al een groot gedeelte van de C-zetmeel omgezet kan worden. Als ook de C5 omgezet kan worden (het doel van het transitie-experiment) neemt het omzet-

tingsrendement van de C-zetmeel toe zodat eenzelfde hoeveelheid ethanol geproduceerd kan worden uit ca. 20% minder C-zetmeel.

Met de huidige stand ter techniek kan slechts een klein gedeelte van het tarwegries tot bio-ethanol worden omgezet, omdat dat grotendeels uit C5 suikers bestaat. Bij het gries is de winst van C6-verwerking daarom nog aanzienlijk groter, er is ca. 50% minder gries nodig voor eenzelfde hoeveelheid ethanol. Daar staat uiteraard tegenover dat de hoeveelheid bijproduct (TGC) dat wordt geproduceerd navenant afneemt. Er is dan ca. 2,8 ton gries nodig om 1 ton bio-ethanol te produceren.

Met de toekomstige technologie kan naar verwachting ook tarwestro worden omgezet, met een rendement van 1 ton bio-ethanol uit ca. 2,6 ton stro. Bij de toepassing van tarwestro als grondstof worden de restproducten ingezet voor de elektriciteitsproductie. Uit de balans blijkt dat er dan een overschot aan elektriciteit wordt geproduceerd.

De gegevens van de massabalansen van het productieproces zijn gebaseerd op door Nedalco aangeleverde informatie, voor een fabriek die ca. 200 miljoen liter ethanol per jaar geproduceerd. Met name de gegevens ten aanzien van het aardgasgebruik van het toekomstige productieproces zijn uiteraard slechts binnen een bepaalde marge aan te geven. In §3.4.4 gaan we nader in op de wijze waarop we met dergelijke onzekerheden in deze duurzaamheidsanalyse zijn omgegaan.

Verbruik of uitgespaard verbruik van benzine, tarwe, sojaschroot en hooi

Zoals aangegeven bij 'afbakening' (paragraaf 3.3) zijn naast de direct aan conversie bij Nedalco gerelateerde processen ook relevant:

- inzet van soja schroot in de referentie situatie (indien C-zetmeel en/of tarwegries worden gebruikt);
- productie van benzine uit aardolie in de referentie situatie;
- productie van elektriciteit door het centrale elektriciteit energie productiepark in de referentie situatie voor tarwestro;
- inzet van tarwe korrels om de omzetting van de C6-suikers in C-zetmeel en tarwegries te compenseren;
- inzet van hooi om de omzetting van C5-suikers in C-zetmeel en tarwegries te compenseren;
- inzet van hooi om het gebruik van tarwestro ten behoeve van bio-ethanol productie te compenseren.

De hoeveelheid tarwe die extra moet worden geproduceerd bij verwerking van C-zetmeel en tarwegries tot ethanol is bepaald op basis van het gehalte aan C6-suikers in tarwe enerzijds en de hoeveelheid suikers die worden omgezet in ethanol anderzijds. Dit geldt ook voor de in de referentie situatie voor C-zetmeel en tarwegries ingezette hoeveelheden soja schroot, en de berekening van de hoeveelheid hooi die ter compensatie van de omgezette C5-suikers moet worden geteeld.

Tabel 3 geeft de aangehouden samenstellingen van de beoogde grondstoffen, van tarwe korrels en van soja schroot. In deze tabel is overigens ook te zien dat gries een duidelijk hoger gehalte aan cellulose en hemicellulose bevat dan C-zetmeel, en dat tarwestro vrijwel geen zetmeel bevat, maar wel veel (hemi)cellulose en lignine.

Tabel 3 Aangehouden samenstellingen (alle getallen in procenten d.s.)

	Grondstoffen bio-ethanol productie			Compensatie teelt	
	zetmeel	gries	tarwestro	tarwe korrels	soja schroot
Koolhydraten				85	39
Zetmeel	64	30	2		
Hemicellulose	10	30	25		
Cellulose	8	8	45		
Lignine		5	20		
As	8	12	7	2	6
Eiwit	10	15	1	12	53
Vet				2	3

Bron: Nedalco en www.nutritiondata.com

In Tabel 4 is gegeven hoeveel tarwe, hooi en soja schroot nodig zijn om het gebruik van de ethanol grondstoffen te compenseren. Deze hoeveelheden hangen uiteraard af van de het suikergehalte van de grondstof én de gebruikte conversie techniek: als meer C6-suikers kunnen worden omgezet in bio-ethanol moet er meer tarwe als veevoer worden geproduceerd ter compensatie. De hoeveelheid hooi is bepaald aan de hand van het gehalte aan C5-suikers, waarbij is uitgegaan van compensatie op basis van gewicht (m.a.w. voor 1 ton omgezette C5-suikers moet 1 ton aan hooi worden geteeld).

Tabel 4 Hoeveelheden tarwe, hooi en sojaschoot die nodig zijn om het gebruik van de grondstoffen voor bio-ethanol productie te compenseren. Alle getallen in ton tarwe, hooi of sojaschoot per ton C-zetmeel of tarwegries

	Nodig aan tarwe	Overeenkomstige hoeveelheid soja	Nodig aan hooi
C6 conversie			
- zetmeel	0,68	0,15	-
- gries	0,32	0,07	-
C5 en C6 conversie			
- zetmeel	0,68	0,15	0,16
- gries	0,32	0,07	0,34

Bij deze berekeningen zijn we ervan uitgegaan dat:

- 90% van de suikers wordt omgezet in bio-ethanol, de rest blijft in het product aanwezig (als gist, melkzuur, restsuikers en glycerol);
- 85% van de tarwe (droge stof) uit suikers bestaat;

- het eiwitgehalte van tarwe 12% van de droge stof is;
- het eiwitgehalte van soja schoot 53% is.

Voor de hoeveelheid hooi die bij verwerking van tarwestro tot ethanol extra moet worden geproduceerd is uitgegaan van een gewichtsverhouding van 1 : 1.

Bij verwerking van tarwestro vervangt het geproduceerd overschot aan elektriciteit door het centrale productiepark geproduceerde elektriciteit in een verhouding van 1 : 1 (m.a.w. 1 GJ_e uit stro vervangt 1 GJ_e van het centrale productiepark).

Aangenomen is verder dat geproduceerde bio-ethanol benzine vervangt, in een verhouding van 1:1 naar ratio van energie-inhoud (m.a.w. 1 MJ bio-ethanol vervangt 1 MJ benzine). Metingen laten echter zien dat het verbruik van ethanol onder bepaalde omstandigheden wellicht lager is dan van benzine. Precieze kennis daarover ontbreekt nog, zodat we dat effect hier niet hebben meegenomen.

3.4.2 Specifieke CO₂-emissies per eenheid grondstof, hulpstof of energiedrager

Vervolgens kunnen de broeikasgas emissies van de verschillende scenario's worden berekend, aan de hand van specifieke CO₂-emissiefactoren. De in deze studie gehanteerde factoren zijn gegeven in tabel 5. Het betreft hier de geschatte emissies van alle broeikasgassen die aan de productie en, in geval van aardgas en benzine, aan het gebruik (c.q. de verbranding) van de verschillende producten zijn verbonden.

Tabel 5 De specifieke broeikasgas emissiefactoren die in deze studie zijn gebruikt, omgerekend naar CO₂-equivalenten. Het negatieve getal bij H₂SO₄ betekent dat er CO₂-emissie wordt uitgespaard, zie de toelichting in de tekst

	emissie-factor (kg CO ₂ -eq)
aardgas (per GJ)	56
benzine (per GJ)	89
elektriciteit (per GJ)	125
ethanol (per GJ)	
H ₂ SO ₄ (per ton)	-100
Ca(OH) ₂ (per ton)	1.010
tarwe (per ton)	510
soja (per ton)	265
hooi (per ton)	149

Deze tabel is als volgt samengesteld:

- de omvang van broeikasgas emissies per eenheid aardgas, elektriciteit en benzine zijn overgenomen uit de milieubalans methodiek ontwikkeld in het kader van Biomassa Transitie Programma;
- de schatting van de aan tarwe teelt gerelateerde emissies van broeikasgassen zijn gebaseerd op het teelt advies voor wintertarwe, zoals opgesteld door

PPO Lelystad. Er is ook rekening gehouden met aardgasverbruik voor drogen en elektriciteit verbruik voor schonen en opslag;

- de schatting van de aan sojateelt gerelateerde emissies van broeikasgassen zijn gebaseerd op een LCA van biodiesel uit soja-olie van NREL. De gehanteerde gegevens hebben betrekking op soja teelt in de V.S., met 50% van de markt de grootste soja producent ter wereld. In Europa worden echter ook grote hoeveelheden soja schroot geïmporteerd uit Argentinië en Brazilië. In het kader van dit project niet voldoende informatie worden gevonden om voor de teelt in deze landen een representatieve CO₂-emissiefactor per eenheid schroot te genereren;
- de broeikasgas emissie voor hooi is geschat op basis van informatie over grasteelt in Nederland en op basis van onderzoek naar nitraat uitspoeling bij grasteelt. In [Pinxterhuis, 2003] is de relatie tussen de gift aan werkzame stikstof in de vorm van dierlijke mest en kunstmest en gras opbrengst per ha. gegeven. In [Schröder, 2004] is de relatie tussen werkzame stikstof gift en opgebrachte hoeveelheid dierlijke mest en kunstmest gegeven;
- de broeikasgas emissie per ton Ca(OH)₂ is gebaseerd op basis van het BAT REF document van EIPPCB. Er bestaat een veelheid aan kalk kwaliteiten, geproduceerd in verschillende typen ovens en met het oog op de beoogde kalk kwaliteit ondervuurd met een bepaalde specifieke brandstof. In deze studie is aangenomen dat bij verwerking van tarwestro hoog reactieve kalk wordt gebruikt. Productie van dergelijke kalk vindt plaats in gasgestookte 'parallel flow regenerative kilns' met een specifiek brandstofverbruik van circa 4 GJ/ton CaO. De overeenkomstige CO₂-emissie bedraagt circa 224 kg/ton Cao. Daarnaast komt er door ontleding van kalk nog eens 786 kg CO₂ vrij;
- bij H₂SO₄ productie wordt een emissie van naar schatting 100 kg CO₂ per ton H₂SO₄ uitgespaard doordat bij H₂SO₄ productie circa 0,8 GJ_e/ton aan elektriciteit kan worden afgezet.

Emissies van niet-CO₂-broeikasgassen (in dit geval voornamelijk N₂O-emissies die vrijkomen bij de teelt) zijn omgerekend naar CO₂-equivalenten d.m.v. de omrekenfactoren die in [EZ, 2004] zijn gegeven.

Bij processen waarbij meerdere waardevolle producten beschikbaar komen is de milieubelasting gerelateerd aan het proces over de producten verdeeld op basis van economische waarde van de producten (economische allocatie) – conform de methodiek ontwikkeld in het kader van Biomassa Transitie.

3.4.3 Allocatie van emissies

Bij de berekeningen moet ook rekening worden gehouden met het uitgangspunt dat niet alle emissies aan de bio-ethanol hoeven te worden toegekend als er ook nog andere nuttige producten bij het proces vrijkomen. In het geval van bio-ethanol productie uit C-zetmeel of gries is dat TGC. Conform de methodiek uit [EZ, 2004] zijn de emissies aan de verschillende producten gealloceerd op basis van economische waarde.

3.4.4 Onzekerheden

We kijken in deze analyse naar de toekomst, naar fabrieken die nog gebouwd moeten worden en naar technieken die nu nog slechts op de tekentafel of in het laboratorium bestaan. We hebben daarom bij de CO₂-reductie berekeningen onzekerheidsmarges aangehouden, voor de parameters die bepalend zijn voor de uitkomsten. We hebben hier geen uitgebreide analyse van best- of worst-cases uitgevoerd, maar volstaan met een globale inschatting van de marge waarin bepaalde parameters zich naar waarschijnlijkheid binnen zullen bevinden. Daarbij hebben we er rekening mee gehouden dat

- de onzekerheden bij de toekomstige conversietechnologie groter zijn dan bij de bestaande techniek;
- er vrij grote onzekerheden bestaan ten aanzien van de hoeveelheid tarwe en hooi die moeten worden geteeld om het gebruik van C-zetmeel en tarwegries te compenseren;
- er onzekerheid bestaat over de landbouwemissies die vrijkomen bij deze teelt⁷;
- het vooralsnog onzeker is hoeveel elektriciteit er enerzijds zal worden geproduceerd en anderzijds nodig is voor het proces bij de inzet van tarwestro;
- de hoeveelheid hooi die ter compensatie van het strogebruik onzeker is, net als de broeikasgas emissies van de teelt.

We hebben daarom voor deze parameters onzekerheidsmarges aangehouden, die zijn gegeven in tabel 6.

⁷ Deze emissies hangen af van onder andere grondsoort, weer, gewenste opbrengst per hectare, etc. Aangezien we nu nog niet weten waar deze tarwe wordt geteeld is ook de onzekerheid van de emissies vrij groot.

Tabel 6 Onzekerheidsmarges in het aardgasgebruik bij de verschillende routes, zoals we die in de berekeningen hebben aangehouden. Als middenschatting hebben we de data gebruikt die Nedalco heeft aangeleverd (zie Bijlage A)

	Onzekerheidsmarges			
	aardgasverbruik	Emissies t.g.v. compenserende tarwe-teelt	Elektriciteitsoverschot bij gebruik van tarwestro	Emissies t.g.v. compenserende hooiteelt
C6 conversie				
- zetmeel	10%	25%		
- gries	15%	25%		
C5 en C6 conversie				
- zetmeel	20%	30%		30%
- gries	30%	30%		30%
- tarwestro			30%	30%

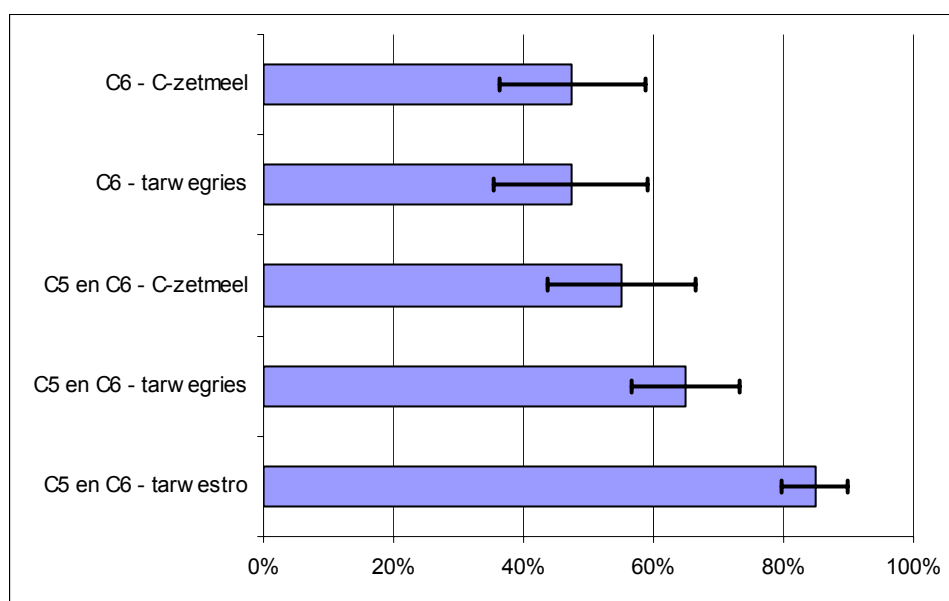
3.5 De netto broeikasgasbalans

3.5.1 Resultaten

Met de data uit de vorige paragrafen kunnen we vervolgens de netto broeikasgasbalans van de beschouwde systemen berekenen.

Het resultaat is grafisch weergegeven in Figuur 12. Detailresultaten zijn te vinden in Bijlage A.

Figuur 12 Broeikasgasreducties die bij de verschillende routes bereikt kunnen worden. De resultaten zijn uitgedrukt in % reductie, ten opzichte van de referentiesituatie waarin benzine wordt gebruikt als brandstof, en de grondstoffen elders worden gebruikt. De dikke balken zijn onze meest realistische schatting, de dunne balken geven de onzekerheid in de resultaten weer.



Volgens deze resultaten komt de CO₂-reductie bij de huidige technologie en het gebruik van C-zetmeel en tarwegries uit op ca. $45 \pm 10\%$. We verwachten dat de netto CO₂-balans positiever wordt als ook de C5 suikers uit C-zetmeel en gries kunnen worden omgezet. De CO₂-reductie is dan ca. $55 \pm 10\%$ bij C-zetmeel, en $65 \pm 10\%$ bij tarwegries. Verwerking van tarwestro en inzet van het daarbij geproduceerde restproduct als brandstof geeft het grootste netto CO₂-voordeel, ca. $85 \pm 5\%$.

De netto CO₂-balans wordt dus naar verwachting duidelijk beter als de nieuwe (te ontwikkelen) technologie ook C5-omzetting mogelijk maakt. Dit verschil is grotendeels terug te voeren op de compensatie van het grondstoffenverbruik: de nieuwe processen maken het mogelijk om ook minder hoogwaardige grondstoffen en suikers te verwerken⁸. Deze kunnen door minder hoogwaardige producten worden vervangen, die met minder kunstmest en energiegebruik (en daarmee met minder broeikasgasemissies) kunnen worden geteeld. We gaan er in onze analyse daarom vanuit dat de omgezette C6-suikers door extra tarweteelt moeten worden gecompenseerd, terwijl we omgezette C5-suikers door extra hooiproductie (grasteelt) vervangen. Omdat tarweteelt veel meer broeikasgas emissies met zich meebrengt dan grasteelt geeft het omzetten van de C5-suikers een grotere netto broeikasgas reductie dan het omzetten van de C6-suikers.

Dit verschil in compensatie verklaart ook dat het gebruik van tarwegries meer CO₂-reductie met zich meebrengt dan C-zetmeel, zodra zowel de C5 als C6 suikers kunnen worden omgezet. Het aandeel C5-suikers is bij tarwegries duidelijk hoger dan bij C-zetmeel (38 versus 18%).

Daarnaast is de energie-efficiency van de C5+C6 omzetting naar verwachting beter dan bij de huidige technologie. Ook dit draagt bij aan de verwachte verbetering in de CO₂-balans.

Hier staat overigens tegenover dat we ervan uitgaan dat het bijproduct van het proces (TGC, dat kan worden afgezet als een eiwitrijk veevoeder product) minder waardevol wordt naarmate het minder suikers bevat. Dit heeft tot gevolg dat er een groter deel van de procesemissies naar bio-ethanol worden gealloceerd naarmate er meer suikers worden omgezet in het proces.

De inzet van tarwestro als grondstof voor de bio-ethanol productie laat duidelijk de beste CO₂-reductie zien, bij de gebruikte uitgangspunten. Tarwestro kan niet als suiker- of eiwitrijk veevoer dienen, zodat het gebruik van tarwestro naar verwachting volledig kan worden gecompenseerd met extra hooiproductie, een relatief CO₂-extensief product. Daarnaast consumeert dit proces geen aardgas, omdat het restproduct kan worden ingezet voor elektriciteits- en stoomproductie. Het proces lever waarschijnlijk zelfs een overschot aan elektriciteit op.

3.5.2 De gevolgen van het gebruik van veevoer als grondstof

Als C-zetmeel en tarwegries of vergelijkbare producten worden gebruikt voor de productie van de bio-ethanol worden producten gebruikt die anders als veevoer worden ingezet. Het is dan ook zinvol om hier in de analyse rekening mee te

⁸ Minder hoogwaardig uit oogpunt van veevoeder toepassing.

houden, en ervan uit te gaan dat er dan extra veevoeder moet worden geteeld ter compensatie.

Deze extra teelt heeft een grote invloed op de CO₂-balans: zonder compensatie zou de netto CO₂-balans ook bij gebruik van C-zetmeel of tarwegries rond de 85% uitkomen (zowel bij de huidige als bij de toekomstige technologie). De extra teelt zorgt daarmee voor een 20-40% lagere broeikasgas reductie. Voor de broeikasgasbalans maakt het bij de huidige techniek dan ook relatief weinig uit of er reststromen worden gebruikt of dat er tarwe speciaal wordt geteeld voor de bio-ethanol productie – alle omgezette zetmeel moet worden gecompenseerd door extra tarweteelt.

Gezien deze grote invloed van de compensatie op de resultaten bevelen we daarom aan om nader uit te zoeken hoe de veevoermarkt precies werkt, en of de gekozen aanpak en aannames inderdaad juist zijn.

3.5.3 Het energiegebruik van het productieproces

Op dit moment zijn er nog geen exacte gegevens beschikbaar over het aardgas- en elektriciteitsverbruik van de nieuwe bio-ethanol fabriek. Ook de verbruiken die nodig zijn voor de nieuw te ontwikkelen processen zijn nog onzeker, en kunnen slechts in benadering worden geschat. Uiteraard zorgt een efficiëntere energie-huishouding van de fabriek voor meer CO₂-reductie.

We bevelen dan ook aan om de eventuele mogelijkheden voor optimalisatie van het energiegebruik zorgvuldig te bestuderen. We denken daarbij aan bijvoorbeeld optimalisatie van het energie- en warmteverbruik, aan vergisting of vergassing van het restproduct van tarwestro verwerking, en aan toepassing van warmtepompen.

3.5.4 Mogelijke gevolgen van CO₂-verkoop

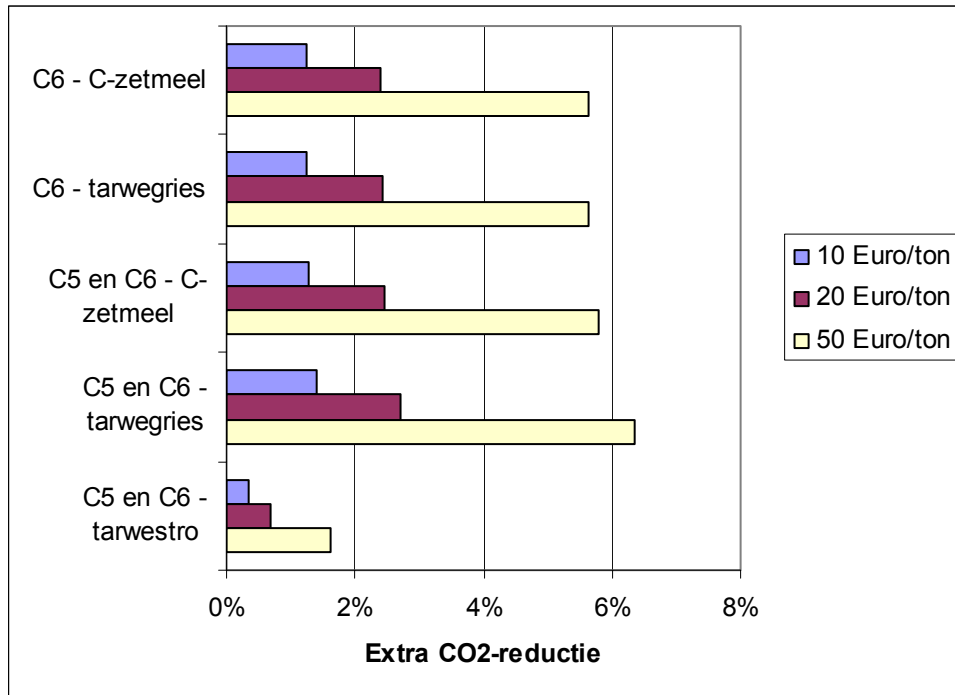
Bij het fermentatieproces komt CO₂ in zuivere vorm vrij. Deze CO₂ kan in principe ook worden verkocht, bijvoorbeeld aan de glastuinbouw, zoals Shell dat sinds kort ook doet met CO₂ dat vrijkomt in het Botlek gebied. In dat geval wordt de CO₂ een waardevol restproduct, en kan een deel van de procesemissies aan deze stroom worden toegekend (gealloceerd). Analoog aan de wijze waarop is omgegaan met allocatie van emissies aan het eiwitrijke restproduct van het proces, moet deze allocatie ook op basis van economische waarde gebeuren.

Het is op dit moment natuurlijk lastig om een betrouwbare schatting te maken van de mogelijke economische waarde van deze CO₂ in de toekomst. Dit hangt af van onder ander de toekomstige aardgasprijs (op dit moment produceert de glastuinbouw in de meeste gevallen CO₂ uit aardgas) en van de kosten om het gas naar de afnemers te transporteren.

In figuur 10 geven we daarom de extra broeikasgas reductie van de verschillende ethanol routes, voor een aantal prijzen voor CO₂. Hierbij is uitgegaan van een

ethanolprijs van 0,30 €/liter. Deze reducties komen bovenop de reducties die zijn gegeven in paragraaf 3.5.1. Uit deze resultaten blijkt dat de broeikasgasbalans van bio-ethanol uit C-zetmeel of tarwegries er enkele procenten op vooruit kan gaan door de verkoop van de CO₂. Uiteraard neemt deze toe groter naarmate de waarde van de CO₂ toeneemt. Bij het gebruik van tarwestro is de winst lager omdat er veel minder netto CO₂-emissies bij het proces vrijkomen.

Figuur 13 De extra broeikasgas reductie van de verschillende ethanol routes voor de situatie waarbij de CO₂ die bij fermentatie vrijkomt wordt verkocht.



4 Overige aspecten van duurzaamheid

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk gaan we in op de overige duurzaamheidsaspecten die genoemd zijn in [EZ, 2004] en mogelijk relevant zijn voor het transitiepad bio-ethanol. Het gaat hierbij om de volgende aspecten:

- kosten per ton vermeden CO₂-eq.;
- andere emissies;
- ruimtegebruik;
- ecologische en sociale aspecten in Nederland;
- ecologische en sociale aspecten bij import van biomassa.

4.2 Kosten per ton vermeden CO₂-equivalenten

De kosten per ton vermeden CO₂-equivalenten hangen af van de meerkosten van de bio-ethanol ten opzichte van benzine, en van de netto reductie van de broeikasgassen zoals we die in het vorige hoofdstuk hebben besproken.

Op de korte termijn is de verwachting dat de prijs van bio-ethanol rond de 0,45 - 0,55 €/liter blijft. Op de langere termijn, als ook lignocellulose houdende biomassa in grootschalige fabrieken wordt omgezet kan deze prijs dalen tot ca. 0,20 – 0,35 €/liter, zo wordt verwacht [GAVE, 2003].

De kale prijs van benzine (dus zonder accijns en BTW) schommelt de laatste jaren rond de 0,35 €/liter. Ook deze prijs is natuurlijk onzeker, zeker op de lange termijn waar de transitie naar kijkt. In deze analyse hebben we deze kosten echter niet gevarieerd, omdat de bandbreedte in de resultaten ook zonder deze variatie als groot is. Bovendien willen we hier ook met name kijken naar de ontwikkeling van de kosten, die we kunnen verwachten naarmate het transitiepad verder wordt afgelopen. We moeten ons echter realiseren dat de benzineprijs een even belangrijke factor is in de kosteneffectiviteit als de prijs van de bio-ethanol.

Omdat de energie-inhoud van een liter benzine hoger is dan van een liter bio-ethanol, moeten deze prijzen niet vergeleken worden op basis van 1 liter, maar kunnen we beter uitgaan van energie-inhoud. De meerkosten van bio-ethanol zijn dan op de korte termijn ca. € 10 – 14,7 per GJ. Op de lange termijn kan bio-ethanol bijna € 2 per GJ goedkoper worden dan benzine als de kosten inderdaad op 0,20 €/l uitkomen, bij 0,35 €/l zijn de meerkosten 5,3 €/GJ.

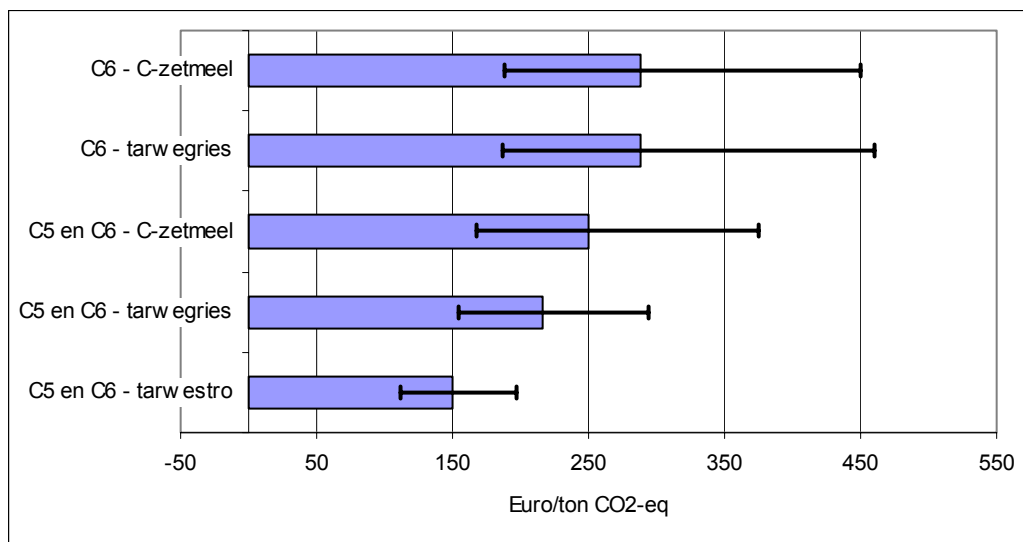
Bij de verwachte kosten voor de korte termijn, en de reductie van de broeikasgasemissies zoals die in het vorige hoofdstuk zijn berekend, komen we uit op de resultaten die in Figuur 14 zijn weergegeven. Het resultaat van dezelfde berekeningen bij de verwachte kosten voor de lange termijn is gegeven in Figuur 15.

Met de huidige technologie (C6-fermentatie) en kosten kost de reductie van een ton CO₂-eq. ca. € 290 (Figuur 14). We verwachten dat deze kosten met ca. 15-

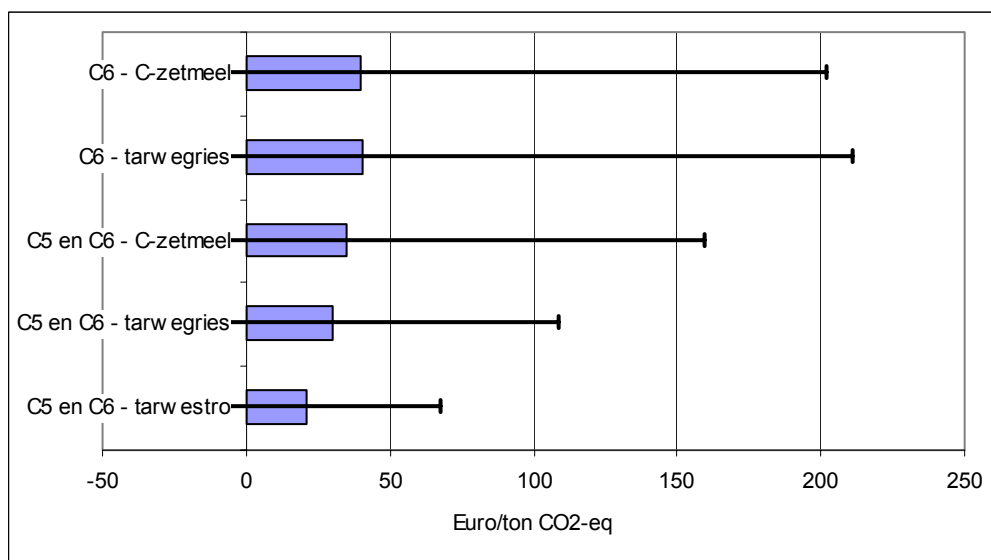
25% worden gereduceerd zodra de nieuwe technologie op grote schaal operationeel is (bij gelijkblijvende kosten en grondstoffen). Het omzetten van tarwestro kan de kosteneffectiviteit nog duidelijk verder verbeteren, vanwege de veel grotere CO₂-reductie die er meer kan worden bereikt. Deze stappen in de transitie zullen daarnaast naar verwachting ook zorgen voor een daling van de kosten voor ethanol.

De verwachte toekomstige kostenverlaging heeft uiteraard grote, positieve gevolgen voor de kosteneffectiviteit, zo is te zien in Figuur 16. De procentuele verschillen tussen de verschillende routes zijn echter hetzelfde. Uit deze figuur blijkt dat de kosteneffectiviteit bij deze lage kosten tussen de 20 €/ton CO₂-eq en 40 €/ton CO₂-eq uitkomt, afhankelijk van de gebruikte grondstoffen.

Figuur 14 Kosten (in Euro) per gereduceerde ton CO₂-equivalent, bij de verschillende routes en een bio-ethanol prijs van 0,45-0,55 €/liter. De dikke balken is onze meest realistische schatting, de dunne balken geven de marge weer waarin we de resultaten verwachten.



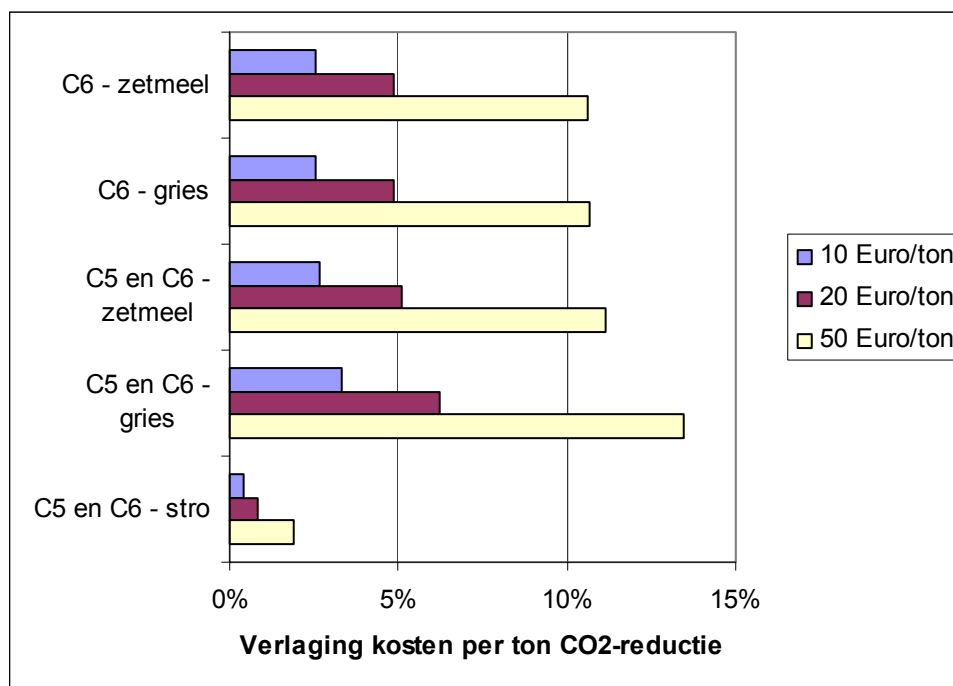
Figuur 15 Kosten (in Euro) per gereduceerde ton CO₂-equivalent, bij de verschillende routes en een bio-ethanol prijs van 0,20-0,35 €/liter. De dikke balken is onze meest realistische schatting, de dunne balken geven de marge weer waarin we de resultaten verwachten.



In de figuren is overigens ook duidelijk te zien dat de onzekerheden in deze resultaten groot zijn, met name bij lage kostenaanname. Zowel de toekomstige kosten als ook de CO₂-reducties zijn uiteraard slechts binnen grote marges aan te geven. Bovendien wordt de bandbreedte in deze resultaten groter naarmate de kosten lager worden.

In Figuur 16 laten we zien wat de gevolgen zijn van een eventuele verkoop van de CO₂ die bij fermentatie vrijkomt. Zoals we hebben laten zien in paragraaf 3.5.4 valt daardoor de netto broeikasgasbalans positiever uit, zodat we hier zien dat de kosten per vermeden ton CO₂ verminderen.

Figuur 16 De mate waarin de kosten per ton CO₂ reductie wordt verlaagd doordat de CO₂ die bij fermentatie vrijkomt wordt verkocht. Hierbij zijn we uitgegaan van de verwachte kosten van bio-ethanol op de lange termijn.



4.3 Effect op overige emissies

Emissies bij Nedalco en in de aan ethanol gerelateerde ketens

Gebruik van aardgas bij Nedalco ten behoeve van verwerking van C-zetmeel en gries zal naast CO₂-emissies ook emissies van CO en NO_x geven. NO_x-emissies en CO-emissies kunnen bij een moderne ultra low NO_x gasbrander worden beperkt tot respectievelijk circa 15 g/GJ en 30 g/GJ. Bij deze specifieke emissies zijn de aan EtOH te alloceren emissies van NO_x en CO beperkt tot respectievelijk 50 - 100 g/ton EtOH en 150 - 200 g/ton EtOH.

Bij verwerking van tarwestro zullen door verbranding van de restfractie van het fermentatieproces naast emissies van CO en NO_x ook emissies van fijn stof en SO₂ optreden. Met moderne rookgasreiniging kunnen deze emissies worden beperkt tot respectievelijk 3 g/GJ en 20 g/GJ. Uitgaande van een brandstof input (in de vorm van restproduct) van ongeveer 20 GJ/ton EtOH blijven de restemissies beperkt tot respectievelijk 60 g fijn stof en 400 g SO₂ per ton EtOH

De teelt van de voor compensatie van het wegzuigen van C-zetmeel, tarwegries en tarwestro benodigde tarwe en gras geeft emissies van NH₃ en NO₃. Grondbewerkingen en transporten van tarwe en hooi zullen emissies van NO_x, CO en deeltjes naar lucht veroorzaken. Daarnaast zullen bij de productie van de bij tarwe teelt en gras teelt geconsumeerde meststoffen emissies naar lucht en water optreden. Het voert te ver om deze emissies binnen deze scan te kwantificeren. Wel kan worden aangegeven op basis van eerdere door CE verrichte onderzoeken dat de emissies van NO_x, SO₂ en NH₃ bij de huidige stand der techniek voor

landbouw werktuigen en kunstmest productie in de orde van 1 - 2 kg/ton tarwe bedragen. Aangezien er circa 2 ton tarwe per ton EtOH nodig is, kan worden gesteld dat de productie van EtOH uit tarwegries en C-zetmeel gepaard zal gaan met een forse indirecte emissie van verzurende stoffen.

Bij het productieproces van bio-ethanol kunnen de nodige geurstoffen worden geëmitteerd, tenzij er maatregelen worden getroffen om deze stoffen te filteren. We gaan ervan uit dat dit bij de nieuwe fabriek zal gebeuren, zoals dat ook bij de huidige ethanol-installatie het geval is.

Er zullen bij Nedalco ook emissies naar water optreden. Omdat we geen volledige massabalans hebben met de omvang van de te verwachten spui is ook niet goed in te schatten tot welke omvang de emissies naar water bij toepassing van BAT (Best Available Technique) voor waterzuivering zouden kunnen worden beperkt.

Emissies in de vervangen benzine keten

De luchtvervuilende en verzurende emissies van benzinevoertuigen zijn op dit moment als zeer laag, en zullen in de toekomst door verdergaande aanscherping van Europese emissienormen nog verder dalen. We verwachten weinig veranderingen van deze emissies als de benzine (deels) wordt vervangen door bio-ethanol.

Daarnaast treden er natuurlijk ook bij de winning en raffinage van benzine emissies op. In het kader van deze studie hebben we die niet verder gekwantificeerd.

Extra transportemissies

Het Nederlandse grondstoffenpotentieel is beperkt [Rabobank], en biomassa teelt is vrijwel niet mogelijk in Nederland. Bij grootschalige toepassing van bio-ethanol moeten de grondstoffen daarom waarschijnlijk worden geïmporteerd, over land of over zee. Dit heeft uiteraard transportemissies tot gevolg.

We kunnen in dat geval twee opties onderscheiden: ofwel de grondstoffen worden naar Nederland vervoerd zodat ethanolproductie hier zal plaatsvinden, ofwel de ethanol wordt lokaal geproduceerd, en vervolgens naar Nederland verscheept. Uit oogpunt van transportemissies en –kosten is de tweede optie te prefereren, omdat in dat geval minder tonnen hoeven te worden vervoerd.

Overigens vind er ook in de referentiesituatie transport plaats: de ruwe olie wordt grotendeels via tankers naar Nederland vervoerd.

Het is op dit moment niet goed in te schatten of de transportemissies bij een transitie naar ethanol toenemen of niet ten opzichte van deze referentie. Dat hangt af van de productielocatie, en de afstanden waarover de grondstoffen of de ethanol moeten worden getransporteerd. De verwachting is dat op de korte termijn het meest waarschijnlijk is dat er zal worden geïmporteerd uit Europese landen of uit landen die nu al bio-ethanol productie capaciteit bezitten (zoals Brazilië).

4.4 Ruimtegebruik

Korte termijn

De komende jaren zal bio-ethanol alleen uit reststromen worden geproduceerd. Hier is dus geen extra landbouwareaal voor nodig. Daar staat wel tegenover dat er extra tarwe moet worden geteeld als C-zetmeel of tarwegries als grondstof wordt gebruikt, ter compensatie van het verlies aan veevoer (zoals in het vorige hoofdstuk is beschreven). Hier is extra landbouwgrond voor nodig.

Lange termijn: 2020/2040

Ook op de langere termijn is de verwachting dat bio-ethanol reststromen van de voedingsmiddelenindustrie en landbouw zal verwerken. Tenzij de veestapel (en dus de behoefte aan veevoer) afneemt, is er dan extra landbouwareaal nodig ter compensatie.

Daarnaast kan bio-ethanol ook worden gemaakt uit biomassa die speciaal voor deze toepassing wordt geteeld. Daarbij ligt voor de hand om biomassa te telen met hoge aandelen makkelijk omzetbare suikers, of houtachtige gewassen. Deze laatste hebben, naast de aanzienlijk lagere broeikasgasemissies (zie het vorige hoofdstuk) ook voordelen op het gebied van ruimtegebruik: de ethanol opbrengst per hectare is hoger (als de nu voorspelde omzetrendementen inderdaad worden bereikt). Biomassateelt zal echter pas rendabel worden als de goedkope reststromen al verwerkt worden, en de vraag naar bio-ethanol groter wordt dan dat er uit reststromen kan worden geproduceerd.

4.5 Ecologische en sociale aspecten in Nederland

Korte termijn

Op de korte termijn kan Nedalco de bio-ethanol volledig produceren uit reststromen uit de Nederlandse voedselindustrie. De technologie die in het kader van de transitie wordt ontwikkeld is erop gericht om meer reststromen te kunnen verwerken, tegen lagere kosten. Zo kan het grondstoffenpotentieel vergroot worden. De ecologische gevolgen hiervan zullen beperkt zijn tot de milieubelasting die extra veevoerteelt met zich meebrengt.

Indien de bio-ethanol uit Nederlandse grondstoffen wordt geproduceerd krijgt de landbouwsector een extra afzetkanaal voor zijn (rest)producten, wat positieve gevolgen voor de werkgelegenheid in deze sector tot gevolg zal hebben. Daarnaast zal ook de bio-ethanol productie voor werkgelegenheid zorgen.

Daarbij moet wel worden geconcurrereerd met buitenlandse leveranciers van grondstoffen en bio-ethanol. Als deze goedkoper kunnen leveren dan de Nederlandse producenten zal de bio-ethanol grotendeels of geheel worden geïmporteerd. De positieve effecten zullen dan navenant minder zijn.

Lange termijn: 2020/2040

Ook op de lange termijn kunnen reststromen worden verwerkt tot bio-ethanol, met dezelfde effecten op de werkgelegenheid als hierboven beschreven.

Als bio-ethanol op termijn ook worden geproduceerd uit geteelde gewassen zal deze teelt waarschijnlijk niet in Nederland plaatsvinden, en dus geen ecologische of sociale effecten voor Nederland met zich meebrengen.

4.6 Ecologische en sociale aspecten in het buitenland

Korte termijn

Indien de bio-ethanol grondstoffen of de bio-ethanol zelf de komende jaren uit het buitenland worden geïmporteerd, is dat goed voor de werkgelegenheid in die landen of regio's.

Lange termijn: 2020/2040

Op de langere termijn, als bio-ethanol een significant aandeel van de brandstoffenmarkt in handen heeft, zullen er in elk geval grondstoffen of bio-ethanol worden geïmporteerd. Bovendien is dan wellicht ook teelt van (al dan niet houtachtige) biomassa attractief. De ecologische en sociale effecten van deze ontwikkelingen kunnen zowel positief als negatief zijn, afhankelijk van de specifieke omstandigheden en het (internationale) beleid dat op dit gebied wordt geïmplementeerd.

- door een grotere vraag naar geschikte grondstoffen voor bio-ethanol zal de prijs ervan toenemen. Dit heeft negatieve economische gevolgen voor de overige afnemers van deze grondstoffen. Veel reststromen kunnen ook als veevoeder dienen, het is daarom te verwachten dat deze sector met hogere kosten zal worden geconfronteerd;
- hetzelfde geldt voor landbouwgrond: als bio-ethanol uit speciaal geteelde biomassa wordt geproduceerd neemt de vraag naar geschikt (vruchtbaar) landbouwareaal toe. Landbouwgrond voor bio-ethanol uit geteelde biomassa concurreert daarom met de voedselvoorziening, natuur en biomassateelt voor andere biobrandstoffen of elektriciteitsproductie. De kosten van deze alternatieve toepassingen kunnen dan stijgen. Met name hogere voedselprijzen kunnen grote sociale gevolgen hebben, zeker in landen met lage inkomens;
- deze transitie gaat daarnaast ten koste van de import van olie, wat naar verwachting negatieve sociale en economische gevolgen voor olie-exporterende landen tot gevolg heeft. Aangezien deze landen vaak niet erg geschikt zijn om tegen lage kosten biomassa te telen (denk aan het Midden-Oosten), biedt de bio-ethanol productie voor deze regio's geen goed alternatief.



Literatuurlijst

Agriholland

Diverse artikelen van de Agriholland website, www.agriholland.nl

Baelmans

Eerste taak 2-2-2003 van Thermodynamica college KU Leuven, deel 2 van Professor M. Baelmans, 2003

Beuker

De website van Beuker, producent van vochtrijke diervoeders, www.beuker.nl

Darwinkel

Teelthandleiding Wintertarwe, via www.kennisakker.nl, A. Darwinkel, Wageningen UR, 1997

Elbersen

Quickscan hoogwaardige toepassingen voor bijproducten uit de voeding en genotmiddelen industrie, H.W. Elbersen, F. Kappen, J. Hiddingk, ATO, Wageningen 2002

EZ

Biomassa: de groene motor in transitie, Stand van zaken na de tweede etappe, Ministerie van Economische Zaken, 2003

EZ

Beoordelingscriteria Duurzaamheid van de regeling Unieke Kansen Regeling, Ministerie van Economische Zaken, conceptversie november 2004

Gave

Biofuels in the Dutch market: a fact-finding study, Ecofys, Novem Report 2GAVE03.12

Gave

Ligno Cellulosic-Ethanol, A Second Opinion, ECN, Novem Report 2GAVE-03.11, 2003

Hamelinck

Outlook for advanced biofuels C. Hamelinck, 2004

Nutritiondata

<http://www.nutritiondata.com/facts-001-02s04fe.html>

PDV

De website van het Productschap Diervoeders, www.pdv.nl

Pinxterhuis

Voederaspecten gras/klaver, I. Pinxterhuis, G. Remmelink en M. Plomp, Wageningen UR, <http://www.biofoon.nl/biobieb/pdf/VoederaspectenGras-klaverNVWV.pdf>, 2003

Schröder

Gebruiksnormen bij verschillende landbouwkundige en milieukundige uitgangspunten, J.J. Schröder et al, Plant Research International, Wageningen, 2004

Vis

Tussenrapport Ketenanalyse Diervoedersector Deelproject 1 en 2, De diervoederketen en zijn witte vlekken in kaart gebracht 'door de bomen het bos zien', R. Vis et al., Ministerie LNV, 2003

Wood, 2004

A Review of Greenhouse Gas Emission Factors for Fertiliser Production, S. Wood and A. Cowie, Research and Development Division, State Forests of New South Wales, Cooperative Research Centre for Greenhouse Accounting, 2004

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

Duurzaamheid van de bio-ethanol transitie

Verkenning van de duurzaamheid
van het Nr. One transitiepad

Bijlagen

Rapport

Delft, Januari 2005

Opgesteld door: B.E. (Bettina) Kampman
H.J. (Harry) Croezen
L.C. (Eelco) den Boer



A Massabalansen en energieverbruik

Deze Bijlage bevat vertrouwelijke informatie, en is derhalve niet in dit rapport opgenomen.

Voor verdere informatie kunt u contact opnemen met Nedalco BV, de heer M. Weissmann.



B Overzicht gebruikte gegevens en aannames

B.1 Inleiding

In deze bijlage geven we een overzicht van de concrete data en aannames t.a.v. de teelt van tarwe, soja en hooi, zoals we die voor de verschillende berekeningen hebben gebruikt. Voor de gebruikte bronnen verwijzen we naar de tekst in het hoofdrapport.

B.2 Emissies van tarwe-, soja- en hooiteelt

In de tabellen 7 t/m 11 laten we de data zien die we hebben gebruikt om de emissies te bepalen die vrijkomen bij de teelt van tarwe, soja en hooi.

tabel 7 Een overzicht van de data die we hebben gebruikt voor de berekening van de emissies die vrijkomen bij de tarweteelt. Alle cijfers, met uitzondering van de emissiefactoren, per kg tarwe.

	teelt	na allocatie	per een- heid schroot	Gezamenlijke ketens, na allocatie	Schonen en drogen en dergelijke	CO ₂ - emissie- factor (kg/MJ of kg/kg)	CO ₂ -emissie (kg CO ₂ / kg tarwe)
N-meststof (kg)							
ammonium nitraat						4,24	
KAS 27%	0,10	0,08	0,12	0,12		3,44	0,42
K-meststof (kg)							
K ₂ O						0,45	
KCl							
P-meststof (kg)							
- SSP						0,08	
- TSP						0,26	
elektriciteit (MJ)					0,04	0,13	0,01
aardgas (MJ)					0,66	0,06	0,04
propaan (MJ)							
hexaan							
benzine (MJ)						0,09	
diesel (MJ)	0,43	0,36	0,54	0,54		0,08	0,05
zeetransport							
Totaal							0,51

tabel 8 Gegevens op basis waarvan we de allocatie hebben bepaald die we in de tabel 7 hebben toegepast. Allocatie is uitgevoerd op basis van economische waarde.

	Massa (kg)	prijs €/ton (NL markt)	opbrengst	Verdeel- sleutel
Tarwe	1			
- korrels	0,66	130	86	83%
- stro	0,34	50	17	17%

tabel 9 Een overzicht van de data die we hebben gebruikt voor de berekening van de emissies die vrijkomen bij de sojateelt. Alle cijfers, met uitzondering van de emissiefactoren, per kg soja.

	teelt	transport	olie-extractie	totaal	na allocatie	per eenheid schoot	per eenheid schoot	CO ₂ -emissiefactor (kg/MJ of kg/kg)	CO ₂ -emissie (kg CO ₂ /kg soja)
N-meststof (kg)									
ammonium nitraat	0,01			0,01	0,00	0,00	0,00	4,24	0,02
KAS 27%								3,44	
K-meststof (kg)									
K ₂ O	0,03			0,03	0,02	0,02	0,02	0,45	0,01
KCl									
P-meststof (kg)									
- SSP 21%								0,08	
- TSP 48%	0,02			0,02	0,01	0,01	0,01	0,26	0,00
elektriciteit (MJ)	0,02		0,31	0,33	0,21	0,25	0,25	0,13	0,03
aardgas (MJ)	0,00		2,60	2,60	1,63	1,97	1,97	0,06	0,11
propaan (MJ)	0,05			0,05	0,03	0,03	0,03		
hexaan									
benzine (MJ)	0,28			0,28	0,17	0,21	0,21	0,09	0,02
diesel (MJ)	1,02	0,14		1,16	0,73	0,88	0,88	0,08	0,07
zeetransport									
									0,26

tabel 10 Gegevens op basis waarvan we de allocatie hebben bepaald die we in de vorige tabel hebben toegepast. Allocatie is uitgevoerd op basis van economische waarde.

	Massa (kg)	prijs €/ton (NL markt)	opbrengst	Verdeel-sleutel
- bonen	1,04			
- olie	0,21	516	108	37%
- schroot	0,83	220	183	63%

tabel 11 Een overzicht van de data die we hebben gebruikt voor de berekening van de emissies die vrijkomen bij de hooiteelt. Alle cijfers, met uitzondering van de emissiefactoren, per kg hooi.

	Verbruik	CO ₂ -emissie-factor (kg/MJ of kg/kg)	CO ₂ -emissie (kg CO ₂ /kg hooi)
N-meststof (kg)			
ammonium nitraat		4,24	
KAS 27%	0,02	3,44	0,06
K-meststof (kg)			
K ₂ O		0,45	
KCl			
P-meststof (kg)			
- SSP		0,08	
- TSP		0,26	
elektriciteit (MJ)		0,13	
aardgas (MJ)		0,06	
propaan (MJ)			
hexaan			
benzine (MJ)		0,09	
diesel (MJ)	0,16	0,08	0,01
zeetransport			
Emissies			
- CO ₂		1,00	
- CH ₄			
- N ₂ O	0,00	290,00	0,07
			0,15



C Resultaten broeikasgasbalans

Deze Bijlage bevat vertrouwelijke informatie, en is derhalve niet in dit rapport opgenomen.

Voor verdere informatie kunt u contact opnemen met Nedalco BV, de heer M. Weissmann.

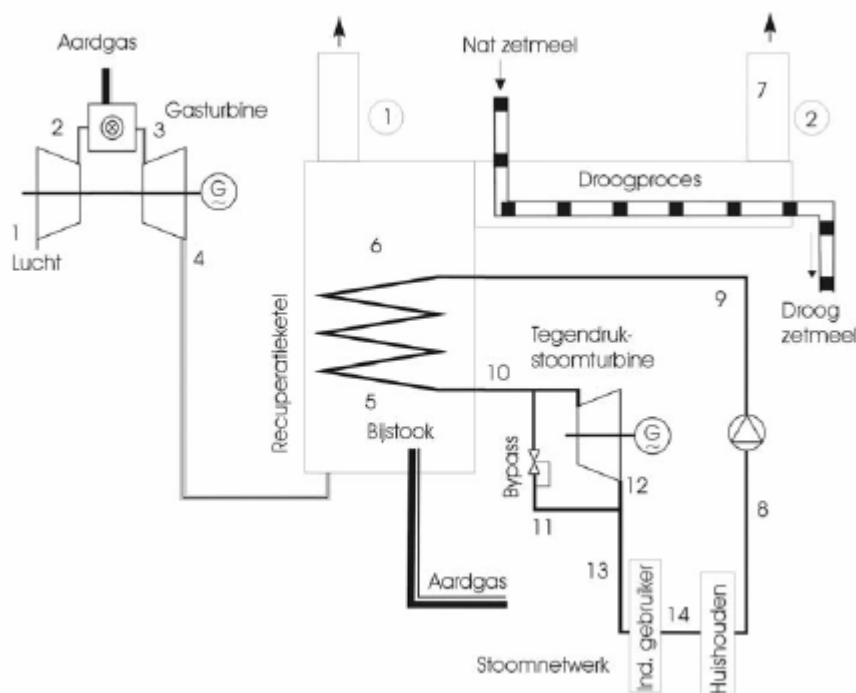


D Bijlage voor Nedalco: berekeningen voor W/K centrale Amylum Aalst

D.1 Het systeem

Bij Amylum Aalst is een W/K-eenheid opgesteld, die gedeeld eigendom is van Electrabel en Amylum. In figuur 17 is een vereenvoudigd thermodynamisch schema van de centrale gegeven (uit [Baelmans, 2003]). De elektrische energie die de gasturbine van deze centrale produceert, is voor Electrabel. De warmte en elektrische energie die gegenereerd wordt uit het stoomnetwerk is voor bedrijf Amylum. Daarbij gebruikt Amylum de warme rookgassen om zetmeel te drogen.

Figuur 17 Een vereenvoudigd thermodynamisch schema van de centrale bij Amylum Aalst, [Baelmans, 2003].



In deze bijlage is uitgewerkt hoeveel aardgas wordt toegerekend aan de aan Amylum geleverde elektriciteit en stoom (in GJ_{gas} per GJ_e of GJ_{stoom}). Omdat het in de energiewereld gebruikelijk is om emissiefactoren uit te drukken per GJ_{gas} maakt de omrekening van elektriciteit en stoom naar aardgas het mogelijk om CO_2 -emissies en emissies van andere verontreinigende stoffen te berekenen.

D.2 Gegevens

De installatie produceert in totaal circa 50 MW_e , waarvan 10 MW_e door de tegendruk stoomturbine. Uit de in [Baelmans, 2003] gegeven informatie kan worden

berekend dat de boiler een vermogen heeft van 67 MW stoom en dat circa 76 MW aan warmte wordt toegevoerd.

In de W/K-centrale is een LM 6000 gasturbine van General Electric opgenomen. De turbine heeft een rendement van (gemiddeld) 41% en levert 41 MW_e vermogen aan het net. De parameters van de stoom in het stoom circuit bedragen 100 bar en 500°C. Bij volledige expansie zou een maximaal elektrisch rendement van ongeveer 30% worden gehaald. Dit is het rendement dat bij de biomassa elektriciteit centrale in Cuijk wordt gehaald. De boiler in Cuijk produceert eveneens stoom van 100 bar, 500°C en heeft een vergelijkbaar rendement.

Het aan de boiler geleverde vermogen bedraagt als gezegd 76 MW. Hiervan wordt – bij benadering - 59 MW geleverd door de gasturbine⁹. De overige 17 MW wordt geleverd door bijstook van aardgas.

D.3 Toerekening aardgasverbruik

D.3.1 Stap 1; toerekening van aardgas aan warmte van de gasturbine

Conform de filosofie van het CO₂-reductieplan is de door de gasturbine aan de boiler van de W/K-centrale bij Amylum geleverde warmte niet helemaal gratis.

De in het CO₂-reductieplan verwerkte gedachtegang is dat met het in de gasturbine ingezette aardgas in principe meer elektriciteit had kunnen worden opgewekt wanneer deze in een moderne STEG met maximaal elektrisch zou zijn ingezet. Bij de W/K-centrale wordt een deel van de energie-inhoud echter niet benut voor elektriciteit productie, maar als warmte afgezet. Daardoor moet elders meer gas worden ingezet om uiteindelijk dezelfde hoeveelheid elektriciteit aan het net te kunnen leveren. Deze extra hoeveelheid aardgas wordt aan de warmte toegerekend.

Voor het toerekenen van de extra hoeveelheid aardgas wordt steeds uitgegaan van een referentie installatie voor elektriciteitsopwekking, de moderne STEG met het hogere elektrische rendement. Voor 2004 is in het CO₂-reductieplan een rendement van 52% voor elektriciteitsopwekking met een moderne STEG vastgesteld. Iedere GJ aardgas ingezet in deze installatie geeft 0,52 GJ_e.

De gasturbine heeft een rendement van 41% en levert - bij benadering - 59% aan warmte aan de boiler. Om met de gasturbine een zelfde hoeveelheid elektriciteit te kunnen produceren als met de referentie STEG zou nodig zijn:

$$\frac{0,52}{41\%} = 1,27 \text{ GJ aardgas}$$

Met deze hoeveelheid aardgas wordt door de W/K-centrale aan warmte geproduceerd:

⁹ De gasturbine heeft een elektrisch rendement van 41% en levert 41 MW_e. Dat wil zeggen dat 41 MW_e ÷ 41% = 100 MW aardgas wordt verbruikt. De resterende (100 – 41) = 59 MW aan energie-inhoud van het verbruikte aardgas wordt bij benadering volledig als warmte aan de rookgassen van de turbine geleverd.

$$1,27 \times 59\% = 0,75 \text{ GJ}$$

$$\frac{0,75}{1,27 - 1} = 0,36 \text{ GJ}_{\text{aardgas}}$$

Het op elkaar betrekken van de extra benodigde hoeveelheid aardgas ($1,27 - 1 = 0,27 \text{ GJ}$) en de geproduceerde hoeveelheid warmte ($0,75 \text{ GJ}$) geeft een aardgasverbruik per GJ warmte van:

Deze factor wordt in het CO₂-reductieplan de bijstookfactor genoemd.

D.3.2 Stap 2: Toerekenen van aardgas aan elektriciteit en stoom uit stoomcircuit

De boiler heeft een rendement van circa $67 \text{ MW}_{\text{stoom}} \div 76 \text{ MW}_{\text{warmte}} = 88\%$. Het netto elektrisch rendement bedraagt circa $10 \text{ MW}_e \div 76 \text{ MW}_{\text{warmte}} = 13\%$. Aangenomen is - bij wijze van best case benadering - dat de rest van de energie-inhoud van de door de boiler geproduceerde stoom als warmte wordt afgezet. Dit is niet erg waarschijnlijk, aangezien dit betekent dat de stoom volledig wordt gecondenseerd en wordt afgekoeld tot circa 30°C, zie [Baelmans, 2003]. Er zijn niet veel industriële processen die een hoge warmtevraag bij lage temperatuur hebben.

De aan de boiler toegevoerde warmte bestaat voor $17 \div 76 \approx 23\%$ uit aardgas. Voor de overige 59 MW moet $59 \times 36\% \approx 21 \text{ MW}_{\text{aardgas}}$ oftewel: $21 \div 76 \approx 27\%$ van de input van de boiler in rekening gebracht, zie vorige subparagraaf.

Met de door de boiler geproduceerde stoom zou als gezegd theoretisch ongeveer $0,3 \text{ GJ}_e/\text{GJ}_{\text{warmte}}$ kunnen worden geproduceerd. Conform de methodiek van het CO₂-reductieplan bedraagt de aan de elektriciteit toe te rekenen hoeveelheid aardgas:

$$\frac{1}{30\%} \times 50\% = 1,68 \text{ GJ}_{\text{aardgas}}$$

Het systeem van boiler met tegendruk stoomturbine en warmtelevering heeft in de praktijk echter een elektrisch rendement van 13% en een thermisch rendement van $88\% - 13\% = 75\%$. Toerekenen van aardgas consumptie aan de geleverde warmte gaat op dezelfde manier als voor de gasturbine. Alleen is in dit geval de referentie een stoomcircuit waarin op basis van stoom van 500°C, 100 bar een maximale hoeveelheid elektriciteit wordt geproduceerd.

- er is nodig aan warmte om dezelfde hoeveelheid elektriciteit te produceren als bij maximaal elektrisch rendement van 30%:

$$\frac{0,3}{13\%} = 2,29 \text{ GJ}_{\text{warmte}}$$

- met deze hoeveelheid aan de boiler geleverde warmte wordt aan stoom geleverd:

$$2,29 \times 75\% = 1,72 \text{ GJ}_{\text{stoom}}$$

- de bijstook factor voor de geleverde stoom bedraagt:

$$\frac{2,29 - 1}{1,72} = 75\%$$

- aangezien per $\text{GJ}_{\text{warmte}}$ die aan de boiler wordt geleverd $0,5 \text{ GJ}_{\text{aardgas}}$ in rekening moet worden gebracht moet per GJ_{stoom} aan aardgas in rekening worden gebracht: $0,75 \times 50\% \approx 0,38 \text{ GJ}_{\text{aardgas}}/\text{GJ}_{\text{stoom}}$.