

Bedrijfseconomische en beleidsmatige evaluatie van elektriciteit- en warmteopwekking uit afval en biomassa

Deelrapport taak 3 van het Marsroute-project

O. van Hilten
T. Gerlagh

Colofon

Projectnummer: 355299/0100

Dit onderzoek is uitgevoerd in het kader van het programma Energiewinning uit Afval en Biomassa (EWAB). Het EWAB-programma wordt uitgevoerd door Novem in opdracht van het ministerie van Economische Zaken.

Beheer en coördinatie van het EWAB-programma berusten bij:
Novem, Nederlandse onderneming voor energie en milieu BV
Catharijnesingel 59
Postbus 8242
3503 RE UTRECHT
Telefoon: (030) 239 34 93
Contactpersoon: Ir. K.W. Kwant
E-mail: k.kwant@novem.nl

EWAB geeft geen garantie voor de juistheid en/of volledigheid van gegevens, ontwerpen, constructies, producten of productiemethoden voorkomende of beschreven in dit rapport, noch voor de geschiktheid daarvan voor enige bijzondere toepassing.

Aan deze publicatie kunnen geen rechten worden ontleend. Overname en publicatie van informatie uit dit rapport is toegestaan, mits met bronvermelding.

Het onderzoek is in samenwerking uitgevoerd door:

PricewaterhouseCoopers	ECN	TNO-MEP
Milieuadviseurs	Westduinweg 3	Business Park E.T.V.
Oostduinlaan 2	Postbus 1	Laan van Westenenk 501
Postbus 30715	1755 ZG Petten	Postbus 342
2500 GS Den Haag	Telefoon: (0224) 56 49 49	7300 AH Apeldoorn
Telefoon: (070) 342 60 6194	Fax: (0224) 56 44 80	Telefoon: (055) 549 34 93
Fax: (070) 342 60 95		Fax: (055) 541 98 37

Auteurs: drs. C.J.G. van Halen, PricewaterhouseCoopers
drs. E. Hanekamp, PricewaterhouseCoopers
dr. O. van Hilten, ECN
dr.ir. J.A. Zeevalkink, TNO-MEP

Deze publicatie maakt deel uit van een reeks rapporten die zijn voortgekomen uit het 'Marsroute'-onderzoek. Het samenvattende rapport is verschenen als EWAB-rapport 2EWAB00.20, de twee andere deelrapporten als EWAB-rapport 2EWAB00.21 (beschikbaarheid van biomassa en afval) en 2EWAB00.22 (conversietechnologieën).

Datum rapportage: november 2000

Meer exemplaren van dit rapport zijn tegen betaling van f 50,- (exclusief verzendkosten) verkrijgbaar bij Novem Publicatiecentrum, telefoon (046) 420 22 50, fax (046) 452 82 60, e-mail: publicatiecentrum@novem.nl

Verantwoording

In dit rapport worden de resultaten weergegeven van één van de deeltaken van het project 'EWAB Marsroutes'. Dit project is uitgevoerd in opdracht van Novem door een consortium, bestaande uit PricewaterhouseCoopers, TNO en ECN. Dit rapport is gemaakt onder eindverantwoordelijkheid van ECN, met bijdragen van TNO. Het bijbehorende ECN-projectnummer is 7.7254. Deze rapportage is tevens verschenen in een EWAB-uitgave, het rapportnummer is: 2EWAB00.23.

Abstract

In this report the use of biomass and waste for the generation of electricity and heat in the Netherlands in the next two decades is described. Twenty two waste and biomass flows and twenty three technologies are distinguished. From the viewpoint of the investors as well as the Dutch government, the 'best' choice of combinations of waste and biomass flows on the one hand and conversion technologies on the other hand is derived. This choice is based on the net present value of investment projects in case of the investors viewpoint, and on the energy efficiency in case of the governments viewpoint. Co-firing of biomass or biomass-products (from gasification, pyrolysis or HTU) in coal-fired plants appears to have the highest net present value. In the long run, gasification of biomass flows and pyrolysis of waste flows seem to be the most promising technologies with regard to energy efficiency. In general, large-scale technologies show lower costs and higher efficiencies than small-scale (gas engine based) technologies. The governmental goal with regard to the use of biomass and waste for 2020 is very difficult to reach, mainly because of the limited domestic availability. The fiscal incentives which currently exist for the generation of renewable energy are crucial to the profitability of most projects.

INHOUD

SAMENVATTING	7
1. INLEIDING	17
2. OPZET EN TERMINOLOGIE	19
3. DE AFVAL- EN BIOMASSASTROMEN EN TECHNOLOGIEËN	22
3.1 Afval- en biomassastromen	22
3.2 De technologieën	26
3.3 Keuze van stroom-technologie combinaties	27
3.4 Voorbewerking en transport van biomassa en afval	27
4. METHODOLOGIE EN UITGANGSPUNTEN	29
4.1 Uitwerking methodologie	29
4.2 Kwalitatieve beoordeling van Stroom-Technologie-Combinaties	30
4.3 Uitgangspunten	32
5. HET BASISPAD VOLGENS HET BEDRIJFSECONOMISCH PERSPECTIEF	40
5.1 Economische rentabiliteit	40
5.2 Biomassa versus aardgas?	41
5.3 Kosten en opbrengsten in ct/kWh	42
5.4 Bepaling marsroute	45
5.5 Gevoeligheidsanalyses	48
5.5.1 Inleiding	48
5.5.2 Aannames die de hoogte van de NCW/inv voor alle technologieën beïnvloeden	49
5.5.3 Aannames die de technologiekeuze beïnvloeden	50
5.5.4 Invloed Groene Stroom vergoeding	53
6. HET BASISPAD VOLGENS HET OVERHEIDSPERSPECTIEF	55
6.1 Besparing of fossiele brandstoffen per technologie	55
6.2 Kosten per ton vermeden CO ₂	57
6.3 Bepaling marsroute	58
6.4 Invloed berekeningsmethodiek uitgespaarde brandstoffen	60
7. DE INVLOED VAN LANGE TERMIJN TRENDS OP DE MARSROUTES	62
7.1 Trends en breekpunten in marsroutes	62
7.2 Het wegvallen van het beleid	63
7.3 Regulering van de landbouw- en afvalsector	66
7.4 Extra beschikbaarheid	68
7.5 Europese CO ₂ -heffing	72
8. CONCLUSIES	73
8.1 Besparing op fossiele brandstoffen	73
8.2 Technologiekeuze	75
8.3 Bedreigingen	77
AFKORTINGEN	78
LITERATUUR	79
BIJLAGE A PRODUCTIE EN BESCHIKBAARHEID VAN BIOMASSA- EN AFVALSTROMEN	80
BIJLAGE B KOSTEN EN RENDEMENTEN VAN DE CONVERSIETECHNOLOGIEËN	81
BIJLAGE C KOSTEN EN RENDEMENTEN VAN VOORBEWERKINGSTECHNOLOGIEËN	84
BIJLAGE D DE GEVOLGEN VAN HUIDIGE INITIATIEVENVOOR DE BESCHIKBAARHEID VAN BIOMASSA	85

BIJLAGE E	KRUISTABELLEN BASISPAD	88
BIJLAGE F	TRENDS EN TRANSITIE OP DE LANGE TERMIJN	100

SAMENVATTING

S.1 Aanpak en methodologie

In dit rapport worden de resultaten weergegeven van één van de deeltaken van het project 'EWAB Marsroutes'. Dit project is uitgevoerd in opdracht van Novem door een consortium, bestaande uit PricewaterhouseCoopers, TNO en ECN. Binnen het project zijn de volgende taken gedefinieerd:

1. Beschikbaarheid van biomassa en afval.
2. Conversietechnologieën.
3. Opstellen van Marsroutes.

Dit rapport beschrijft de derde taak: het concretiseren van een aantal marsroutes die beschrijven hoe de inzet van afval en biomassa voor de productie van elektriciteit en warmte in de komende twintig jaar zou kunnen verlopen. De marsroutes zijn gebaseerd op een technisch-economische evaluatie van afval/biomassa-technologie combinaties.

De problematiek van afval en biomassa is heel breed. Deze studie bestrijkt niet deze gehele problematiek, maar blijft beperkt tot de vraag: gegeven een bepaalde beschikbaarheid van afval en biomassa voor energieopwekking, welke opties zijn er voor opwekking van elektriciteit en warmte en hoe kunnen die opties beoordeeld worden. Aspecten van de biomassa- en afvalproblematiek die niet of slechts zijdelings aan de orde komen, zijn:

- afweging preventie-hergebruik-energiewinning uit afval,
- import en export van afval- en biomassa-stromen,
- afweging elektriciteit-biobrandstoffen-materialen,
- afweging biomassa- en afvalopties versus andere opties voor besparing op fossiele brandstoffen en CO₂-reductie.

Er worden twee sets van marsroutes geconstrueerd. Een marsroute beschrijft de inzet van biomassa en afval voor de opwekking van elektriciteit en warmte in de komende twintig jaar. Per periode van 5 jaar wordt aangegeven in welke technologieën geïnvesteerd wordt en welke afval- en biomassastromen in die technologieën worden omgezet. Aan elke marsroute liggen een aantal aannames ten grondslag omtrent het Nederlandse en/of Europese stimuleringsbeleid ten aanzien van duurzame energie, ontwikkelingen in de landbouw- en afvalsector en beschikbaarheid van buitenlandse biomassastromen. De precieze invulling van de marsroutes is gebaseerd op inschattingen van beschikbaarheid van biomassa uit taak 1 en de technologiekaracterisering uit taak 2.

Elke set marsroutes wordt ontwikkeld vanuit een bepaald (leidend) perspectief: bedrijfs-economische rentabiliteit of overheidsdoelstellingen. In het bedrijfseconomisch perspectief wordt, in elke periode, voor elke afval- en biomassastroom de technologie gekozen met de hoogste score, zijnde een gewogen gemiddelde van de Netto Contante Waarde (NCW) per geïnvesteerde gulden en enkele kwalitatieve criteria (ontwikkelingsrisico van technologieën, selectiviteit qua inputs, aansluiting op de energie-infrastructuur). In de berekeningen wordt de Netto Contante Waarde uitgerekend met een levensduur van 15 jaar en een 'cost of capital' van 11,6%. Er wordt vanuit gegaan dat alle subsidie- en stimuleringsmaatregelen die nu van kracht zijn of te verwachten zijn (zoals bijvoorbeeld de verhoging van de REB in 2001) van kracht blijven en dat er geen nieuwe maatregelen bij komen. Aangenomen is dat de afdrachtskorting

REB en een groene stroom vergoeding samen een kleine 12 ct/kWh bedragen¹. Als er, voor een bepaalde stroom, geen enkele technologie voorhanden is met een positieve score, dan blijft de stroom onbenut. Marsroutes volgens dit bedrijfseconomisch perspectief geven weer wat er waarschijnlijk gaat gebeuren (als de aannames in deze studie correct zijn).

In het overheidsperspectief wordt, in elke periode, voor elke afval- en biomassa-stroom de technologie gekozen met de grootste besparing op fossiele brandstoffen. Randvoorwaarde daarbij is dat de investering in de betreffende technologie wel binnen 15 jaar terugverdiend moet worden. Als er, voor een bepaalde stroom, geen enkele technologie voorhanden is met een terugverdientijd kleiner dan 15 jaar, dan blijft de stroom onbenut. Marsroutes volgens dit overheidsperspectief geven weer wat wenselijk is vanuit de doelstelling voor duurzame energie.

De marsroutes zijn geen voorspellingen. Doel van het opstellen van de marsroutes is:

- Om, tezamen met de bijbehorende analyse, te komen tot aanbevelingen ten aanzien van het R,D&D-beleid in EWAB-kader.
- Marktpartijen uit te nodigen tot een dialoog over prioriteiten. De marsroutes geven ‘de beste’ keuzes in een gestileerde wereld, vanuit een gestileerd perspectief. Marktpartijen kunnen aangeven welke overwegingen hen leiden tot andere beslissingen dan in de marsroutes (tussen droom en daad staan immers wetten en praktische bezwaren).
- Aanknopingspunten te geven voor mogelijk additioneel beleid gericht op het halen van de doelstellingen voor besparing op fossiele brandstoffen door de inzet van biomassa en afval. Deze aanknopingspunten moeten naar voren komen uit de verschillen tussen het bedrijfseconomisch en het overheidsperspectief.

De gehanteerde doelstelling voor energieopwekking uit afval en biomassa is weergegeven in Tabel S.1 en is gebaseerd op de doelstelling van 5% duurzaam in 2010 en 10% in 2020, en een aandeel daarin van biomassa en afval van 44% (cf. de Derde Energienota). De absolute waarden zijn veel hoger dan ten tijde van de Derde Energienota omdat nu wordt uitgegaan van een hoger toekomstig energiegebruik

Tabel S.1 *Gehanteerde doelstelling energieopwekking uit biomassa en afval (uitgespaarde PJ's)*

	2010	2020
Het aandeel van biomassa en afval in de doelstelling voor duurzame energie	79	170
Energiewinning uit afval, waarvan 50% als biomassa telt	45	45
Totaal (eerste rij plus de helft van de tweede rij)	101	192

De hoeveelheid uitgespaarde brandstoffen wordt in principe uitgerekend volgens de methode van het Protocol Monitoring Duurzame Energie. Dat betekent dat de geproduceerde elektriciteit en warmte via referentierendementen voor warmte en elektriciteit wordt teruggerekend naar fossiele input. Voor bij/meestookopties wordt hiervan afgeweken: daar wordt berekend hoeveel kolen of gas vervangen wordt door het bij/meestoken van biomassa of afval. Het referentierendement (zijnde het gemiddelde rendement van het Nederlandse elektriciteitspark) voor elektriciteit loopt op van 46,5% in 2000 tot 51% in 2020. Het referentierendement voor warmte loopt op van 90% in 2000 naar 94% in 2020.

S.2 Beschikbaarheid van afval en biomassa

Voor de beschikbaarheid van biomassa en afval zijn door TNO drie scenario's ontwikkeld. Het eerste scenario gaat uit van vrije markten en een zwak internationaal klimaatbeleid. Het tweede scenario gaat ook uit van vrije markten, maar met een sterk internationaal klimaatbeleid. Het

¹ Impliciet is daarbij aangenomen dat de geproduceerde stroom aan kleinverbruikers verkocht wordt als groene stroom, waarbij het voordeel van het niet hoeven betalen van de REB (8,2 ct/kWh) ten goede komt aan de producent. Verder is aangenomen dat de vraag naar groene stroom groot genoeg is.

derde scenario tenslotte gaat uit van een door overheden gereguleerde markt met een sterk internationaal klimaatbeleid. In de basisberekeningen in dit rapport wordt uitgegaan van het tweede scenario. De beide andere scenario's spelen een rol in de alternatieve marsroutes. In Tabel S.2 is de beschikbaarheid van afval en biomassa volgens het gekozen scenario samengevat. Onder beschikbaarheid wordt verstaan: biomassa- en afvalstromen die voor energieopwekking ingezet kunnen worden en waarvoor geen rendabeler toepassing voorhanden is. In veel gevallen is deze beschikbaarheid veel lager dan de totale productie van de betreffende stroom. Van de totale omvang van stromen zoals vermeld in Tabel S.2 mag volgens de huidige definitie ongeveer 75% tot duurzame energie worden gerekend.

Tabel S.2 *Overzicht stromen, in PJ afval- en biomassa-input (rundermest niet gewaardeerd tegen verbrandingswaarde, maar tegen de energie-inhoud van de droge stof)*

	2000	2005	2010	2015	2020	Opmerkingen
Totaal	159	168	177	187	196	
Restfracties afval	78	71	64	57	50	5 stromen; sterk negatieve prijs
Gescheiden afvalstromen	10	24	37	51	64	7 stromen; negatieve prijzen
Mest	29	26	23	20	17	2 stromen; negatieve prijzen ¹
Hout/gras/stro	37	42	47	52	57	6 stromen: negatieve en pos. prijs
RWZI-slib en V&G/Swill	5	6	6	7	7	Resp. een sterk negatieve en een sterk positieve prijs

¹ Voor runder- en varkensmest wordt in de berekeningen uitgegaan van een 'brandstofprijs' van nul gulden, aangezien het restproduct na vergisting tegen ongeveer dezelfde kosten afgevoerd zal moeten worden (zie verder Paragraaf 4.3)

S.3 Technologieën

In Tabel S.3 staat aangegeven welke technologieën in de studie zijn meegenomen.

Tabel S.3 *Technologieën (bij- en meestook in kolencentrale, tenzij anders vermeld)*

Bij- en meestook	Stand-alone, wkk	Stand-alone, alleen elektriciteit	Stand-alone, alleen warmte of gas
Meestook (direct/indirect)	CFB-vergasser-gasmotor, 3 MW _e	CFB-vergasser-STEG, 30 MW _e	Droge vergisting
HTU voor meestook	BFB-turbine, 10 MW _e	CFB-vergasser-STEG, 150 MW _e	Kleinschalige verbranding, 1MW _{th}
Flash pyrolyse voor meestoken	FB-gasmotor, 1 MW _e	Verbranding, wervelbed, 25 MW _e	
Bijstook na vergassing (aparte technologie voor schone en vuile stromen)	Natte vergisting	Verbranding, AVI	
Bijstook na pyrolyse	Pyrolyse gasmotor-stoomturbine, 8 MW _e	Pyrolyse STEG, 25 MW _e	
Bijstook in KV/STEG			
Bijstook in aardgascentrale			
Stoomzijdige integratie bij kolen- of gascentrale			

Voor al deze technologieën zijn door TNO en ECN kentallen opgesteld voor investeringskosten, B&O-kosten en energetische rendementen. Tevens is aangegeven welke ontwikkeling er nog mogelijk wordt geacht ten aanzien van kosten en energierendement in de periode 2000-2020. Deze kentallen zijn gebruikt bij het opstellen van de marsroutes.

Opmerkingen bij deze tabel:

- Voor de CFB-vergasser van 150 MW_e en HTU is verondersteld dat ze pas vanaf 2010 commercieel inzetbaar zijn.
- Voor de CFB-vergasser van 30 MW_e en de pyrolyse-STEg is verondersteld dat ze pas vanaf 2005 commercieel inzetbaar zijn.
- Bij de KV/STEg zijn in principe dezelfde bij- en meestookmogelijkheden aanwezig als bij poederkoolcentrales. In de berekeningen is slechts één bijstookoptie meegenomen (gebaseerd op de cijfers voor vergassing-bijstook).
- Natte vergisting is hier gemodelleerd als kleinschalige (op de boerderij) verwerking van runder-, kalver- en varkensmest, met productie van elektriciteit in een gasmotor. Het is bovendien de enige technologie voor deze stroom.
- De restfracties van huishoudelijk en KWD-afval kunnen na intensieve voorbereiding (pelletiseren) geschikt gemaakt worden voor wervelbedverbranding (en dus ook voor stoomzijdige integratie). Van vergassing van deze restfracties wordt afgezien vanwege de grote technologische onzekerheden en problemen met het geproduceerde vlieggas.
- Bij- en meestook is niet alleen een optie voor centrales die al enige jaren staan, maar ook voor nieuw te bouwen centrales, waarbij dan de 'ombouw' voor bij- of meestook direct bij de bouw van de centrale plaatsvindt.
- Onder stoomzijdige integratie wordt verstaan: wervelbedverbranding (incl rookgasreiniging) en benutting van de geproduceerde stoom in het stoomcircuit van een kolen- of aardgascentrale. Stoomzijdige integratie in een aardgascentrale wordt alleen als optie meegenomen bij nieuw te bouwen aardgas-STEg's, waarvan het stoomcircuit bij de bouw gedimensioneerd kan worden op stoomzijdige integratie.

Bij het opstellen van de kentallen van deze technologieën is rekening gehouden met de bestaande milieuwetgeving. Aanvullende rookgasreinigingseisen ten opzichte van de NER worden door de overheid overwogen voor installaties die biomassa verwerken. Op grond van (CE, 1999) is aangenomen dat dit geen significante kostenstijging tot gevolg zal hebben, met uitzondering van de investeringskosten in kleinschalige verbrandingsinstallaties.

Uiteindelijk is gewerkt met 22 afval- en biomassastromen en 23 technologieën, waarbij directe en indirecte meestook als aparte technologieën worden geteld, evenals stoomzijdige integratie bij een gascentrale en bij een kolencentrale. Dit geeft in principe 506 combinaties. Het projectteam heeft gezamenlijk aangegeven welke combinaties niet relevant worden geacht. Van die 506 combinaties zijn dat er 252. Er blijven dus 254 combinaties over, die meegenomen zijn in de berekeningen (zie Bijlage E).

S.4 Breekpunten die tot alternatieve marsroutes leiden

Op grond van het huidige beleid en het gehanteerde beschikbaarheidsscenario is de basis-marsroute opgesteld. Uit een TNO-studie naar lange termijn-trends in technologie en maatschappij die van invloed kunnen zijn op de marktpenetratie van conversiesystemen voor energieopwekking uit afval en biomassa (zie Bijlage F), zijn een aantal breekpunten voortgekomen die leiden tot 'aftakkingen' van deze basis-marsroute, en daarmee tot alternatieve marsroutes. Het gaat om de volgende breekpunten/marsroutes:

- Het wegvallen van het beleid gericht op stimulering van duurzame energie. Dit leidt zowel tot lagere beschikbaarheid van afval en biomassa als tot slechtere rentabiliteit.
- Regulering van de landbouw- en afvalsector, op Europees niveau. Dit leidt tot lagere beschikbaarheid.
- Extra beschikbaarheid van binnenlandse en buitenlandse biomassa- en afvalstromen.
- Europese CO₂-heffing in plaats van het nationale beleid.

S.5 Conclusies

S.5.1 Besparing op fossiele brandstoffen

Het gehanteerde doel

Indien wordt verondersteld dat de 10%-doelstelling voor duurzame energie gerelateerd wordt aan recente energie-scenario's (met een behoorlijk sterk stijgend energiegebruik tot 2020) en een aandeel daarin van afval en biomassa van 44% (zoals in de Derde Energienota), dan zou in 2020 192 PJ fossiele energie bespaard moeten worden door de inzet van afval en biomassa.

De resultaten van de marsroutes

De besparing op fossiele brandstoffen als gevolg van de inzet van biomassa en afval voor elektriciteitsopwekking in 2020, varieert in de marsroutes van 42 tot 192 PJ. De ondergrens doet zich voor in de marsroute waarin verondersteld is dat er in Europa en Nederland geen actief klimaatbeleid gevoerd wordt, wat resulteert (zo is aangenomen) in een lagere beschikbaarheid van afval en biomassa en het wegvallen van het stimuleringsbeleid (EIA/VAMIL, REB, groene stroom). De omvang van uitgespaarde fossiele brandstoffen is dan niet veel hoger dan het huidige niveau. De bovengrens doet zich voor in de marsroute waarin het huidige stimuleringsbeleid wordt gehandhaafd, de beschikbaarheid van binnenlandse biomassa- en afvalstromen toeneemt en er biomassa geïmporteerd wordt om het gestelde doel te halen. Zonder de import is in die marsroute de omvang van uitgespaarde fossiele brandstoffen 136 PJ. Met maximale warmtelevering bij stand-alone installaties is dit mogelijk op te hogen tot ruim 158 PJ.

Bij voortzetting van het huidige stimuleringsbeleid, geen onttrekking van biomassa- en afvalstromen aan andere toepassingen en zonder import van biomassa (het basispad, bedrijfseconomisch perspectief), wordt er naar schatting 100 PJ fossiele brandstoffen bespaard in 2020. Als de overheid een zodanige sturing kan uitvoeren dat de technologieën met de hoogste besparing op fossiele brandstoffen worden gekozen (mits de terugverdientijd van de betreffende technologieën korter is dan 15 jaar), dan kan die 100 PJ groeien tot 115-130 PJ (de bovengrens hoort bij maximale warmtelevering bij stand-alone installaties).

In Tabel S.4 zijn de resultaten van de marsroutes in termen van uitgespaarde fossiele brandstoffen samengevat. Beschikbaarheid van afval en biomassa speelt een grote rol als het gaat om de besparing op fossiele brandstoffen in 2020: bij een tweetal scenario's (wegvallen van de urgentie van het klimaatbeleid en regulering van de landbouw- en afvalsector op Europees niveau) is die beschikbaarheid zodanig dat de gehanteerde doelstellingen bij lange na niet gehaald worden.

Tabel S.4 *Resultaten marsroutes voor het jaar 2020*

Marsroute	Bedrijfseconomisch perspectief [PJ uitgespaard]	Overheids perspectief [PJ uitgespaard]	Overheidsperspectief met maximaal wkk bij stand-alone installaties [PJ uitgespaard]
Wegvallen stimuleringsbeleid	42	46	51
Regulering landbouw en afvalsector	60	67	77
<i>BASISPAD (huidig beleid)</i>	97	114	132
Basispad met extra binnenlandse beschikbaarheid	121	136	158
Basispad met extra binnenlandse beschikbaarheid en import	141	192	Nvt

Waarom wordt het doel zo moeizaam gehaald?

Dit is vooral het gevolg van een te geringe binnenlandse beschikbaarheid, en in veel mindere mate van het ontbreken van rendabele conversietechnologieën. Dit wordt geïllustreerd door het feit dat in het basispad (huidig beleid, relatief hoge beschikbaarheid) van alle beschikbare stromen 80% (op PJ-basis, in de periode 2015-2020) op rendabele wijze ingezet kan worden, waarmee de besparing op fossiel in 2020 uitkomt op ‘slechts’ 97 PJ.

Rol van import van biomassa cruciaal voor behalen doel

Gezien de conclusie dat de binnenlandse beschikbaarheid onvoldoende is om de gestelde doelen te halen, is het van cruciaal belang hoeveel biomassa er tegen acceptabele prijzen geïmporteerd kan worden. In de studie is uitgegaan van twee tranches. De eerste tranche heeft een omvang van 30 PJ in 2020 en kost 7,5 gld/GJ (aan de poort van de centrale). De tweede tranche heeft een omvang van 200 PJ in 2020 en kost 12 gld/GJ. Om de doelstelling te halen moet ook de tweede tranche aangesproken worden.

Import van biomassa vergt overigens een veel bredere beoordeling dan alleen vanuit de Nederlandse energie-doelstelling voor biomassa. Het gaat immers ook om de rol van biomassa in de landen van herkomst, natuurbeheer, biodiversiteit, etc.

Warmtelevering?

In deze studie is alleen voor kleinschalige installaties (tot 10 MW_e) warmtelevering verondersteld. Warmtelevering komt zowel de rentabiliteit als de besparing op fossiele brandstoffen ten goede. Voor de rentabiliteit geldt dat a fortiori indien, vergelijkbaar met elektriciteit, naast de afdrachtskorting REB een extra vergoeding voor groene warmte geïncasseerd zou kunnen worden (hetgeen in deze studie *niet* is aangenomen). De kleinschalige gasmotoropties leiden ondanks de warmtelevering niet tot meer uitgespaarde fossiele brandstoffen dan de meeste bij- en meestookopties, omdat hun elektrisch rendement te ver onder het referentierendement ligt. Warmtelevering zonder elektriciteitsopwekking doet het op dit punt zelfs beter dan kleinschalige wkk, maar is economisch erg onrendabel als gevolg van de lage veronderstelde bedrijfstijd en het ontbreken van een ‘groene warmte’ vergoeding.

Warmtelevering bij (min of meer) grootschalige stand-alone installaties met een hoger elektrisch rendement, zou in de marsroutes wél kunnen leiden tot meer uitgespaarde fossiele brandstoffen. Echter, er vindt in de marsroutes veel bij- en meestook plaats bij bestaande centrales, waar eventuele warmtelevering al is ‘ingeboekt’ als energiebesparing en, in de gehanteerde methodiek van berekening van uitgespaarde brandstoffen, niet meer wordt toegerekend aan de biomassa- en afvalinzet. In de marsroute volgens het overheidsperspectief (basispad) zou warmtelevering bij alle stand-alone elektriciteitscentrales op afval en biomassa in principe 15 à 20 PJ extra besparing in 2020 kunnen opleveren.

Concurrentie met andere opties

Ten aanzien van de ‘concurrentie’ met andere opties voor CO₂-reductie kan gesteld worden, dat de bij- en meestookopties qua kosten passen in de range van het basispakket uit deel 1 van de Uitvoeringsnota Klimaatbeleid. Bij de gehanteerde importprijzen voor import (7,5 en 12 gld/GJ, aan de poort van de centrale), zit deze optie aan de bovenkant van die range.

Ten opzichte van transportbrandstoffen uit biomassa, zoals bestudeerd in GAVE-kader, kan gesteld worden dat de bij/meestookopties goedkoper zijn en dat de goedkopere stand-alone opties vergelijkbare kosten hebben, in termen van kosten per ton CO₂.

Ten aanzien van andere duurzame opties voor elektriciteitsopwekking is de vergelijking met offshore wind het meest relevant. In z’n algemeenheid kan gesteld worden dat de bij- en meestookopties tot een lagere kWh-prijs leiden dan offshore wind. Stand-alone opties, met na-

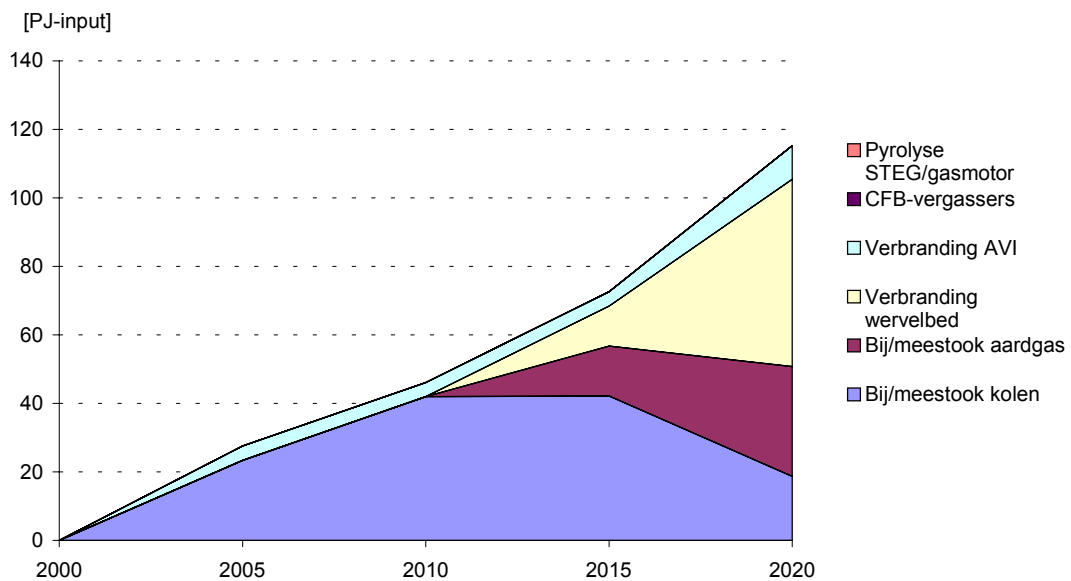
me voor stromen met een positieve prijs, kennen in het algemeen een hogere kWh-prijs dan offshore wind.

Invloed berekeningsmethodiek

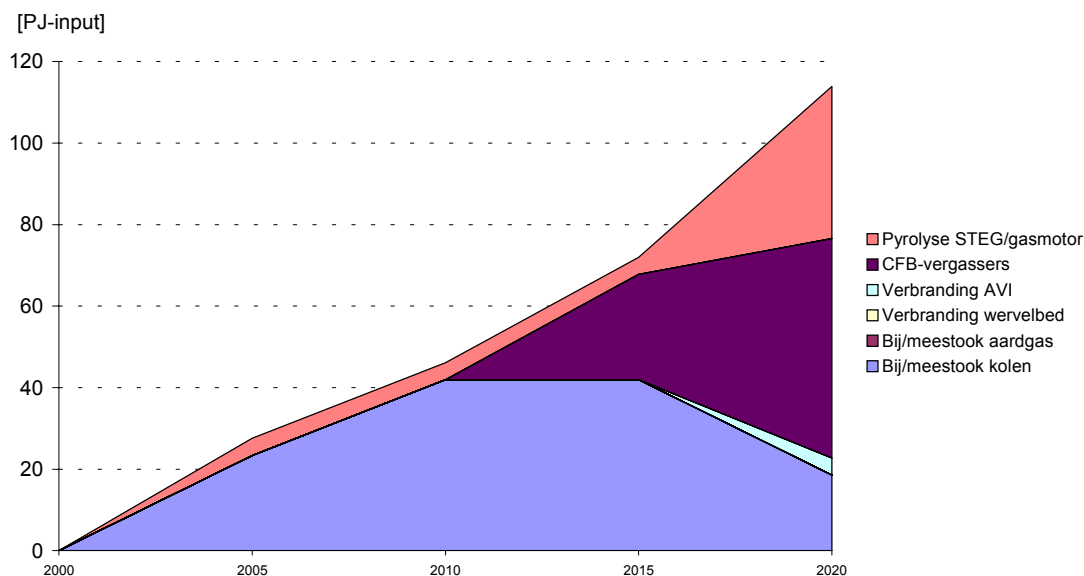
Er is in de studie voor gekozen om de omvang van de besparing op fossiele brandstoffen voor stand-alone opties te berekenen via het referentierendement van het elektriciteitspark, maar voor bij/meestookopties via de hoeveelheid uitgespaarde brandstof in de betreffende centrale. Deze berekeningsmethodiek geeft in principe het meest accuraat aan hoeveel fossiele brandstoffen daadwerkelijk uitgespaard zullen worden, en is sterk in het voordeel van bij/meestook in kolencentrales. Als ook bij/meestook in kolencentrales op dezelfde wijze behandeld zou worden als stand-alone centrales, daalt de (berekende) hoeveelheid uitgespaard fossiel drastisch. Immers, 1 PJ uitgespaarde kolen in de centrale leidt slechts tot 0,8 PJ uitgespaard fossiel volgens de methode van het parkrendement (circa 40% rendement voor kolen, 50% voor het park). Volgens deze berekeningsmethode leidt inzet van biomassa/afval in kolencentrales niet tot de hoogste besparing op fossiel. Bijstook in aardgascentrales is, op termijn samen met de grootschalige CFB-vergassing, volgens deze berekeningsmethodiek de beste optie.

S.5.2 Technologiekeuze

In de Figuren S.1 en S.2 is weergegeven welke technologieën worden gekozen in het basispad, volgens beide perspectieven. Het gaat hierbij uitsluitend om nieuwe projecten, bestaande en reeds geplande energieopwekking uit afval en biomassa is dus niet in deze plaatjes opgenomen.



Figuur S.1 *Technologiekeuze volgens het bedrijfseconomische perspectief in het basispad*



Figuur S.2 *Technologiekeuze volgens het overheidsperspectief in het basispad*

Bij- en meestook spelen op de korte termijn dominante rol

Bij- en meestook in kolencentrales springen eruit als meest aantrekkelijke technologieën. Ook bijstook in gascentrales speelt een zeer belangrijke rol in de marsroutes.

In het bedrijfseconomisch perspectief zijn bij- en meestookopties in kolencentrales met afstand het meest rendabel, gevolgd door bijstookopties in gascentrales. In het overheidsperspectief zijn het ook de bij/meestookopties die de eerste tien jaar tot de meeste besparing op fossiele brandstoffen leiden. Afhankelijk van de berekeningsmethodiek gaat het dan om bij/meestook in kolencentrales of bijstook in gascentrales.

In de berekeningen is aangenomen dat ook in het geval van bij/meestook in kolencentrales een Groene Stroom vergoeding van toepassing is van een aantal biomassastromen. Indien de uit bij/meestook in kolencentrales opgewekte stroom niet verkocht wordt als Groene Stroom (en dus niet profiteert van het nihil tarief), wordt in de meeste gevallen bijstook in een aardgascentrale (of stoomzijdige integratie) de meest aantrekkelijke technologie. Daarnaast wordt de 'voorsprong' in rentabiliteit op de stand-alone opties (m.n. wervelbedverbranding) veel kleiner, maar hij blijft bestaan.

CFB-vergassing van biomassa en pyrolyse van afval meest veelbelovende nieuwe technologieën voor de langere termijn

Van de 'nieuwe' stand-alone technologieën leveren alleen de pyrolyse-opties (voor afvalverwerking) en de CFB-vergasser-STEG (voor schone biomassa en gescheiden ingezamelde afvalstromen) een significante bijdrage aan de marsroutes, zowel in het bedrijfseconomisch als overheidsperspectief. In het bedrijfseconomisch perspectief is de concurrentiepositie van CFB-vergassers t.o.v. wervelbedverbranding wel erg gevoelig voor de schattingen van de investeringskosten.

Alternatieve verwerking van afval lijkt bedrijfseconomisch en qua besparing interessant

Wat betreft afvalverwerking lijkt een aanzienlijke bedrijfseconomische winst te behalen met meestook dan wel wervelbedverbranding (met evt. stoomzijdige integratie in kolen- of gascentrales) van brandstof gemaakt uit de resfractie van kantoor-, winkel- en dienstenaafval en huishoudelijk afval. Wervelbedverbranding, evt. in combinatie met stoomzijdige integratie in gascentrales, blijft dan over als technologie die in het bedrijfseconomisch perspectief een grote rol speelt. Als het gaat om maximale besparing op fossiele brandstoffen, zijn het vooral de pyroly-

se-opties die de potentie lijken te hebben om veel meer energie uit afval te winnen dan nu met de AVI's gebeurd.

Technologiekeuze lijkt 'robuust'

Gevoeligheidsanalyses wijzen uit dat de bij- en meestookopties tegen een stootje kunnen: ook indien de kosten van bij/meestook hoger worden verondersteld en de kosten van andere opties lager, blijft de rentabiliteit van bij/meestook groter dan van de concurrenten. Het omgekeerde lijkt te gelden voor de kleinschalige (gasmotor-)opties: ook bij gunstige aannames is de rentabiliteit lager dan van de concurrenten. Indien de stroom uit bij- en meestookopties in kolencentrales niet verkocht wordt als Groene Stroom, nemen de bijstookopties in aardgascentrales veelal de koppositie qua rentabiliteit over.

Grote invloed van 'beschikbaarheid' kolencentrales

De beperkte 'beschikbaarheid' van kolencentrales beïnvloedt de invulling van de marsroutes sterk². Levensduurverlenging van huidige centrales of nieuwbouw zou een nog veel zwaarder accent op bij- en meestook in kolencentrales met zich meebrengen. Dit leidt echter wel tot meer kolengebruik en, zonder additionele eisen aan de CO₂-emissies van die kolencentrales, tot meer CO₂-emissies.

Grote invloed van maximale bijstookfactor

In de studie is een maximale bijstookfactor gehanteerd van 30% (op energiebasis) voor kolencentrales en 10% voor gascentrales. Aangezien de beschikbaarheid van bijstookvermogen een beperkende factor is in de marsroutes, ligt het voor de hand om onderzoek te doen naar de mogelijkheden om de bijstookfactor te verhogen. Zo is bijvoorbeeld één van de claims van HTU dat met de geproduceerde brandstof een veel hogere bijstookfactor haalbaar is.

Biomassa versus aardgas

In de meeste energiescenario's tot 2020 breidt het elektriciteitspark in Nederland zich verder uit, met name in de vorm van aardgasgestookte centrales, veelal als warmte/kracht installatie. De vraag kan gesteld worden of een aantal van deze installaties niet biomassa-gestookt zouden kunnen worden. Voor de stromen met een negatieve of licht positieve prijs blijkt m.n. wervelbedverbranding inderdaad een hogere NCW/inv te hebben dan de aardgas-STEG en ook dan de aardgas-STEG inclusief ombouw. De veel hogere investeringskosten worden gecompenseerd door de lagere brandstofkosten, de afdrachtskorting REB en de groene stroom vergoeding. Echter, zolang er bestaande STEG's of kolencentrales voorhanden zijn, blijft bij/meestook een rendabeler benutting van biomassastromen dan stand-alone opties.

Divers beeld

Zowel (wervelbed-)verbranding, vergassing en pyrolyse spelen een belangrijke rol in de marsroutes. HTU speelt een minder grote rol (m.n. omdat verondersteld is dat HTU pas na 2010 beschikbaar is), maar de verschillen in rentabiliteit tussen HTU en de andere bij/meestookopties zijn niet erg groot. Vergisting komt in de marsroutes niet voor, maar met name mestvergisting lijkt perspectieven te bieden indien andere stromen bijgemengd kunnen worden.

Geen kans voor kleinschalige opties?

De kleinschalige stand-alone technologieën komen niet aan bod in de marsroutes, met uitzondering van de pyrolyse-gasmotor optie voor (kleine) afvalstromen. Nagegaan zou moeten worden of wellicht de logistieke voordelen (o.a. contracteerbaarheid van inputs) van kleine installaties in deze studie onderschat worden, en mogelijk de 'economies of scale' van grote installaties overschat. Bovendien kan kleinschalige technologie een onmisbare stap zijn op weg naar groot-schalige installaties.

² Er is aangenomen dat de huidige kolencentrales een levensduur van ongeveer 30 jaar bereiken.

S.5.3 Bedreigingen

Bij langere levensduur AVI's geen kans voor nieuwe technologie

In de studie is verondersteld dat bestaande AVI's voor 2020 uit bedrijf genomen worden en een aantal plannen voor nieuwe AVI's nog niet definitief zijn. Als bestaande AVI's langer in bedrijf blijven en/of alle huidige plannen gerealiseerd worden, is er geen ruimte voor nieuwe technologie bij de verwerking van afval. Vanuit het oogpunt van energiebesparing heeft dat behoorlijke consequenties, aangezien juist bij de energiewinning uit afval nog grote winsten te halen lijken (zie boven).

Export?

Afgezien van enkele bestaande projecten is in deze studie geen rekening gehouden met mogelijke export van afval- en/of biomassastromen naar het buitenland. Eventuele export heeft natuurlijk direct gevolgen voor het potentieel voor besparing op fossiele brandstoffen in Nederland en zou daarmee het realiseren van de Nederlandse doelstellingen bemoeilijken.

Andere prijzen voor afval en biomassa?

In deze studie is geen rekening gehouden met effecten op de prijzen van biomassa en afval als gevolg van de inzet voor energieopwekking. De huidige negatieve prijzen van veel stromen leveren een belangrijke bijdrage aan de economische rentabiliteit. Het mogelijk stijgen van de prijzen kan daardoor grote gevolgen hebben, temeer daar dit ook effect kan hebben op de contracteerbaarheid.

Veranderingen in het stimuleringsbeleid voor duurzame energie

De huidige fiscale stimulering van duurzame energie heeft een grote invloed op de rentabiliteit van de beschouwde opties. Het geheel vrij worden van de Nederlandse markt voor duurzame energie of (later) van de Europese markt, kan gevolgen hebben van de mate van fiscale ondersteuning. Het huidige Nederlandse stimuleringsbeleid komt overeen met het effect van een Europese heffing van meer dan 50 Euro per ton CO₂. Het is zeer de vraag of een Europese heffing een dergelijk niveau zal bereiken. Zo niet, dan verslechtert de rentabiliteit van de in dit rapport bestudeerde opties. Bovendien kan er meer concurrentie tussen verschillende duurzame opties ontstaan. Bij- en meestook lijken de concurrentie met offshore wind goed aan te kunnen, voor de stand-alone opties wordt dat al veel moeilijker.

Restproducten

In de berekeningen is geen rekening gehouden met de kosten en opbrengsten van verkoop/verwerking van restproducten zoals de assen. De relatie tussen de eigenschappen van de assen en de waarde ervan valt buiten het bestek van deze studie. Impliciet wordt derhalve aangenomen dat deze problematiek geen invloed heeft op de keuze voor technologieën. Met name bij de verschillende verwerkingsroutes voor de restfracties afval verdient deze problematiek veel aandacht.

1. INLEIDING

In dit rapport worden de resultaten weergegeven van één van de deeltaken van het project 'EWAB Marsroutes'. Dit project is uitgevoerd in opdracht van Novem door een consortium, bestaande uit PricewaterhouseCoopers, TNO en ECN. Binnen het project zijn de volgende taken gedefinieerd:

1. Beschikbaarheid van biomassa en afval.
2. Conversietechnologieën.
3. Opstellen van Marsroutes.
4. Analyse.

Taak 3 is opgedeeld in twee subtaken. Subtaak 3a betreft een beschrijving van belangrijke trends en drijvende krachten in technologie en maatschappij, die van invloed zijn op de inzet van afval en biomassa voor energieopwekking. Deze subtaak is uitgevoerd door TNO. Subtaak 3b betreft het concretiseren van een aantal marsroutes die beschrijven hoe de inzet van afval en biomassa voor de productie van elektriciteit en warmte in de komende twintig jaar zou kunnen verlopen. De marsroutes zijn gebaseerd op een technisch-economische evaluatie van afval/biomassa-technologie combinaties. In dit rapport wordt deze subtaak 3b beschreven. Een samenvatting van subtaak 3a is opgenomen in Bijlage F.

In Hoofdstuk 2 wordt de gehanteerde opzet en methodologie toegelicht. In Hoofdstuk 3 wordt de benodigde informatie uit respectievelijk taak 1 en taak 2 van het project samengevat. In Hoofdstuk 4 wordt de methodologie uitgewerkt en worden de gehanteerde aannames gemotiveerd. De beschrijving van het basispad vanuit het bedrijfseconomische en het overheids perspectief is opgenomen in respectievelijk Hoofdstuk 5 en 6. De beschrijving van de overige marsroutes is opgenomen in Hoofdstuk 7. De conclusies staan in Hoofdstuk 8.

De problematiek van afval en biomassa is heel breed. Deze studie bestrijkt niet deze gehele problematiek, maar blijft beperkt tot de vraag: gegeven een bepaalde beschikbaarheid van afval en biomassa voor energieopwekking, welke opties zijn er voor opwekking van elektriciteit en warmte en hoe kunnen die opties beoordeeld worden. Aspecten van de biomassa- en afvalproblematiek die niet aan de orde komen, zijn:

- Afweging preventie-hergebruik-energiewinning uit afval.
- (Grotendeels) import en export van afval- en biomassa-stromen.
- Afweging elektriciteit-biobrandstoffen-materialen.
- Afweging biomassa- en afvalopties versus andere opties voor besparing op fossiele brandstoffen en CO₂-reductie.

De twee eerstgenoemde aspecten komen wel impliciet aan bod bij de veronderstellingen ten aanzien van beschikbaarheid in taak 1.

Daarnaast zijn er ook nog een aantal factoren die wel direct te maken hebben met de doelstelling van dit project (opwekking van elektriciteit en warmte uit afval en biomassa), maar die om diverse redenen toch buiten beschouwing blijven:

- Beïnvloeding van de prijs van biomassa en afval als gevolg van inzet voor energieopwekking, en daarmee samenhangend: de mogelijkheden om langjarige contracten af te sluiten voor de gegarandeerde levering van biomassa/afval tegen een bepaalde prijs.
- beïnvloeding technologische ontwikkeling. De gehanteerde kosten- en rendementscijfers in dit rapport zijn exogenen voor de marsroutes. Het is dus niet zo dat die kentallen beïnvloed worden door de gemaakte keuzes in de marsroutes (zgn. learning-effecten).
- reststoffen-problematiek (kwaliteit-prijs assen). Nuttige toepassing van gevormde restproducten is om uiteenlopende redenen noodzakelijk of wenselijk. Niet in de laatste plaats

vanwege financiële overwegingen. Vanwege de (althans in theorie) talrijke benuttingsmogelijkheden, zou meenemen van deze problematiek een studie op zich vergen.

- heterogeniteit van stromen wat betreft kwaliteit en prijs. De indeling die in taak 1 is gehanteerd is al vrij gedetailleerd, maar toch zijn een aantal stromen nog divers wat betreft samenstelling en/of prijs. Hiervan wordt geabstraheerd.
- lokale omstandigheden.

In deze studie zal vaak gerefereerd worden aan de Nederlandse overheidsdoelstelling voor duurzame energie, volgens de daarvoor gebruikte definitie van 'duurzaam'. Uit het voorgaande moge duidelijk zijn dat in deze studie geen uitspraken gedaan worden over de duurzaamheid van de gepresenteerde marsroutes. Het begrip duurzaamheid gaat de reikwijdte van de marsroutes uit deze studie ver te boven. De marsroutes gaan niet verder dan de omvang van uitgespaarde fossiele brandstoffen en het deel wat volgens de momenteel door de overheid gehanteerde definitie, als duurzame energie mag worden gerekend.

2. OPZET EN TERMINOLOGIE

De grote lijn van de aanpak

Er worden twee sets van *marsroutes* geconstrueerd. Een marsroute geeft voor elke periode aan welke biomassaprojecten gerealiseerd worden (zowel uitbreidings- als vervangingsinvesteringen). Elke set marsroutes wordt ontwikkeld vanuit een bepaald (leidend) *perspectief*: bedrijfseconomische rentabiliteit of overheidsdoelstellingen. Binnen beide sets van marsroutes wordt een *basispad* geconstrueerd gebaseerd op een bepaalde visie op de relevante *omgeving* (we doen *alsof* we de toekomst kennen). Vervolgens erkennen we dat we de toekomst niet kennen en benoemen we de belangrijkste onzekerheden (taak 3a) Die onzekerheden leiden tot *breekpunten* in het basispad. Elk breekpunt betekent een vertakking van het basispad en kan daarmee een nieuwe marsroute worden (what-if). Deze breekpunten zijn dus kritische factoren in de omgeving. Ze hebben te maken met het gevoerde beleid (vaak Europees) en zijn meestal niet specifiek voor biomassa en afval. De uitwerking hiervan staat beschreven in Hoofdstuk 6. Naast deze tamelijk algemene omgevingsfactoren is er ook een groot aantal specifieke onzekerheden die direct te maken hebben met de combinaties van biomassa/afvalstroom en technologie. Ten aanzien van deze onzekerheden worden gevoeligheidsanalyses uitgevoerd, die beschreven staan in Paragraaf 5.3.

Wat is een marsroute?

Een marsroute beschrijft de inzet van biomassa en afval voor de opwekking van elektriciteit en warmte in de komende twintig jaar. Per periode van 5 jaar wordt aangegeven in welke technologieën geïnvesteerd wordt en welke afval- en biomassastromen in die technologieën worden omgezet. Aan elke marsroute liggen een aantal aannames ten grondslag omtrent het Nederlandse en/of Europese stimuleringsbeleid ten aanzien van duurzame energie, ontwikkelingen in de landbouw- en afvalsector en beschikbaarheid van buitenlandse biomassastromen. De precieze invulling van de marsroutes is gebaseerd op inschattingen van beschikbaarheid van biomassa uit taak 1 en de technologiekarakterisering uit taak 2.

Hoe komt een marsroute tot stand?

In het *bedrijfseconomisch perspectief* wordt, in elke periode, voor elke afval- en biomassastroom de technologie gekozen met de hoogste score, zijnde een gewogen gemiddelde van de Netto Contante Waarde (NCW) per geïnvesteerde gulden en enkele kwalitatieve criteria. Als er, voor een bepaalde stroom, geen enkele technologie voorhanden is met een positieve score, dan blijft de stroom onbenut.

In het *overheidsperspectief* wordt, in elke periode, voor elke afval- en biomassastroom de technologie gekozen met de grootste besparing op fossiele brandstoffen. Randvoorwaarde daarbij is dat de investering in de betreffende technologie wel binnen 15 jaar terugverdiend moet worden. Als er, voor een bepaalde stroom, geen enkele technologie voorhanden is met een terugverdientijd kleiner dan 15 jaar, dan blijft de stroom onbenut.

Wat is het doel van de marsroutes?

De marsroutes zijn geen voorspellingen. Doel van het opstellen van de marsroutes is:

- Om, tezamen met de bijbehorende analyse, te komen tot aanbevelingen ten aanzien van het R,D&D-beleid in EWAB-kader;
- Marktpartijen uit te nodigen tot een dialoog over prioriteiten. De marsroutes geven ‘de beste’ keuzes in een gestileerde wereld, vanuit een gestileerd perspectief. Marktpartijen kunnen aangeven welke overwegingen hen leiden tot andere beslissingen dan in de marsroutes (tussen droom en daad staan immers wetten en praktische bezwaren).
- Aanknopingspunten te geven voor mogelijk additioneel beleid gericht op het halen van de doelstellingen voor besparing op fossiele brandstoffen door de inzet van biomassa en afval.

De perspectieven

In het eerste perspectief is het belangrijkste criterium: is de installatie financieel rendabel voor een investeerder? In het tweede perspectief is het belangrijkste criterium het halen van een gegeven ambitieuze doelstelling tegen zo laag mogelijke maatschappelijke kosten. Beide perspectieven staan niet los van elkaar. De overheid zal haar doelstelling trachten te verwezenlijken door zodanige voorwaarden te stellen dat genoeg projecten bedrijfseconomisch rendabel worden om die doelstelling te halen. M.a.w. de overheid zal proberen ervoor te zorgen dat beide perspectieven tot hetzelfde resultaat leiden. In dit project wordt echter geen nieuw beleid voorgesteld. Er wordt uitgegaan van uitsluitend bestaand beleid. De marsroutes van het eerste perspectief geven nieuwe informatie over de bedrijfseconomische aantrekkelijkheid van opties. De verschillen die tussen de marsroutes volgens beide perspectieven optreden moeten aangeven waar de aanknopingspunten voor additioneel beleid zitten. Deze studie kan daarmee ook gezien worden als een verbijzondering (voor biomassa en afval) van eerdere studies van KEMA en ECN die voor het gehele DE-terrein hebben bekeken of bestaand beleid voldoende is om de doelstelling te halen.

Een vermeldenswaard onderscheid tussen beide perspectieven is verder dat het eerste perspectief 'bijziend' is (projecten die 'nu' rendabel worden geacht, worden uitgevoerd), terwijl het tweede perspectief 'verziend' is (het gaat uiteindelijk om het halen van een doelstelling in 2020).

Beide perspectieven zullen hier nader worden uitgewerkt.

Perspectief 1: Bedrijfseconomische rentabiliteit

Een belangrijk investeringscriterium is de rentabiliteit. Gekozen wordt voor projecten die rekenend met een rente (beter: 'cost of capital') van 11,6%³ (vóór belastingen) nog rendabel zijn. M.a.w., de interne rentevoet moet hoger zijn dan 11,6%. In de berekeningen wordt de Netto Contante Waarde uitgerekend met een levensduur van 15 jaar en een 'cost of capital' van 11,6%. Er wordt vanuit gegaan dat alle subsidie- en stimuleringsmaatregelen die nu van kracht zijn of te verwachten zijn (zoals bijvoorbeeld de verhoging van de REB in 2001) van kracht blijven en dat er geen nieuwe maatregelen bij komen.

Perspectief 2: Overheidsdoelstelling

In dit perspectief staat een te behalen doelstelling, ten aanzien van energieopwekking uit afval en biomassa centraal. De resultaten van het eerste perspectief zullen worden vergeleken met de overheidsdoelstelling. Uit de (mogelijke) verschillen kunnen vervolgens aanknopingspunten voor het beleid worden gedestilleerd.

Er is geen expliciete overheidsdoelstelling die exact overeenkomt met de in deze studie beschouwde energieopwekking. In een uitwerking van de 10% duurzame energie doelstelling door EZ (1997) staan biomassa & afval voor 4,4% genoteerd. In het algemeen wordt dit vertaald in 120 PJ, zijnde 4,4% van het ten tijde van de Derde Energienota verwachte energiegebruik in 2020 (N.B. oude definitie van duurzaam, dus inclusief alle afval). Echter, de meest recente scenario's komen uit op een veel hoger energiegebruik in 2020. Bovendien is de definitie van duurzaam veranderd, maar de doelstelling ongewijzigd gebleven.

In een studie die het ECN recentelijk voor EZ heeft uitgevoerd over de toekomst van duurzame energie in Nederland tot 2020 (zie voetnoot 1), bedraagt het energiegebruik in 2020 3790 PJ. Een aandeel van 4,4% voor biomassa en afval (nieuwe definitie!) komt dan neer op 170 PJ vermeden fossiel energiegebruik in 2020. In de preambule van het Energieconvenant tussen de overheid en de AVI's wordt gesproken over een doelstelling van 45 PJ vermeden fossiel in 2020. Op grond van de veronderstelling dat de helft daarvan tot duurzame energie wordt gere-

³ Aanname overgenomen uit een recente studie van ECN over duurzame energie (Ybema, 1999).

kend, komt de totale hoeveelheid uitgespaard fossiel door de inzet van biomassa en afval komt daarmee op $170+22,5=192,5$. Dit wordt als overheidsdoelstelling gehanteerd in dit project.

Voor 2010 is er inmiddels ook een officiële doelstelling voor duurzame energie: 5%. In het eerder genoemde scenario bedraagt het totaal energiegebruik in 2010 3586 PJ. Net als in 2020 gaan we er van uit dat 44% van de DE-doelstelling met biomassa en (duurzaam) afval gerealiseerd wordt. Dat komt neer op ongeveer 79 PJ. Gezien de bestaande uitbreidingsplannen van AVI's zou de genoemde doelstelling voor de AVI's van 45 PJ uitgespaard fossiel in 2020 ook al in 2010 gerealiseerd worden. De totale hoeveelheid uitgespaard fossiel door de inzet van biomassa en afval komt daarmee op $79+22,5=101$ PJ.

Tabel 2.1 Gehanteerde doelstelling energieopwekking uit biomassa en afval [uitgespaarde PJ's]

	2010	2020
Het aandeel van biomassa en afval in de doelstelling voor duurzame energie	79	170
Energiewinning uit afval	45	45
Totaal (eerste rij plus de helft van de tweede rij)	101	192

Mogelijk is de doelstelling iets te laag omdat in deze benadering gescheiden ingezamelde afvalstromen, zoals plastic en oude autobanden, die apart worden verwerkt, 'tussen wal en schip' vallen.

3. DE AFVAL- EN BIOMASSASTROMEN EN TECHNOLOGIEËN

3.1 Afval- en biomassastromen

Door TNO is een inventarisatie gemaakt van de beschikbaarheid van afval en biomassa voor energieopwekking (Koppejan, 2000). In Bijlage A zijn de resultaten daarvan samengevat. Voor de beschikbaarheid van biomassa en afval worden drie scenario's gehanteerd. Scenario 1 gaat uit van vrije markten en een zwak internationaal klimaatbeleid. Scenario 2 gaat ook uit van vrije markten, maar met een sterk internationaal klimaatbeleid. Scenario 3 tenslotte gaat uit van een door overheden gereguleerde markt met een sterk internationaal klimaatbeleid. In de basisberekeningen in dit rapport wordt uitgegaan van scenario 2. De beide andere scenario's spelen een rol in de marsroutes in Hoofdstuk 7. In Tabel 3.1 is de beschikbaarheid van afval en biomassa volgens scenario 2 samengevat. Van de totale omvang van stromen zoals vermeld in Tabel 3.1 mag volgens de huidige definitie ongeveer 75% tot duurzame energie worden gerekend.

Tabel 3.1 *Overzicht stromen volgens scenario 2, in PJ afval- en biomassa-input, op basis van taak 1 (rundermest niet gewaardeerd tegen verbrandingswaarde, maar tegen de energie-inhoud van de droge stof)*

	2000	2005	2010	2015	2020	Opm.
Totaal	159	168	177	187	196	
Restfracties afval	78	71	64	57	50	5 stromen; sterk negatieve prijs
Gescheiden afvalstromen	10	24	37	51	64	7 stromen; negatieve prijzen
Mest	29	26	23	20	17	2 stromen; negatieve prijzen ¹
Hout/gras/stro	37	42	47	52	57	6 stromen: negatieve en pos. prijs
Overig (RWZI-slib en V&G/Swill)	5	6	6	7	7	

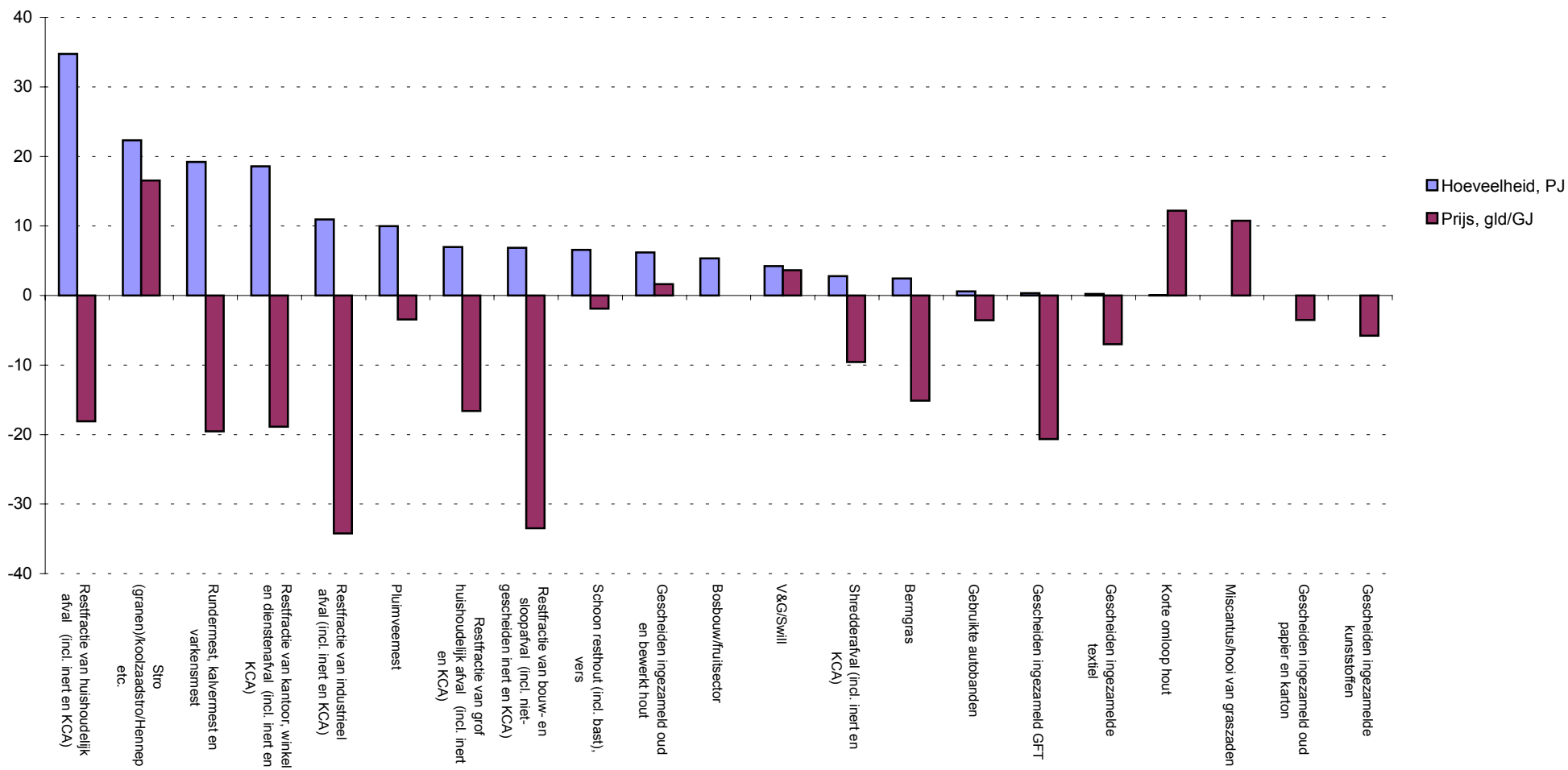
¹ Voor runder- en varkensmest wordt in de berekeningen uitgegaan van een 'brandstofprijs' van nul gulden, aangezien het restproduct na vergisting tegen ongeveer dezelfde kosten afgevoerd zal moeten worden (zie verder Paragraaf 4.3).

Om het totale aantal stromen uit taak 1 (29) enigszins te beperken zijn de volgende keuzes gemaakt:

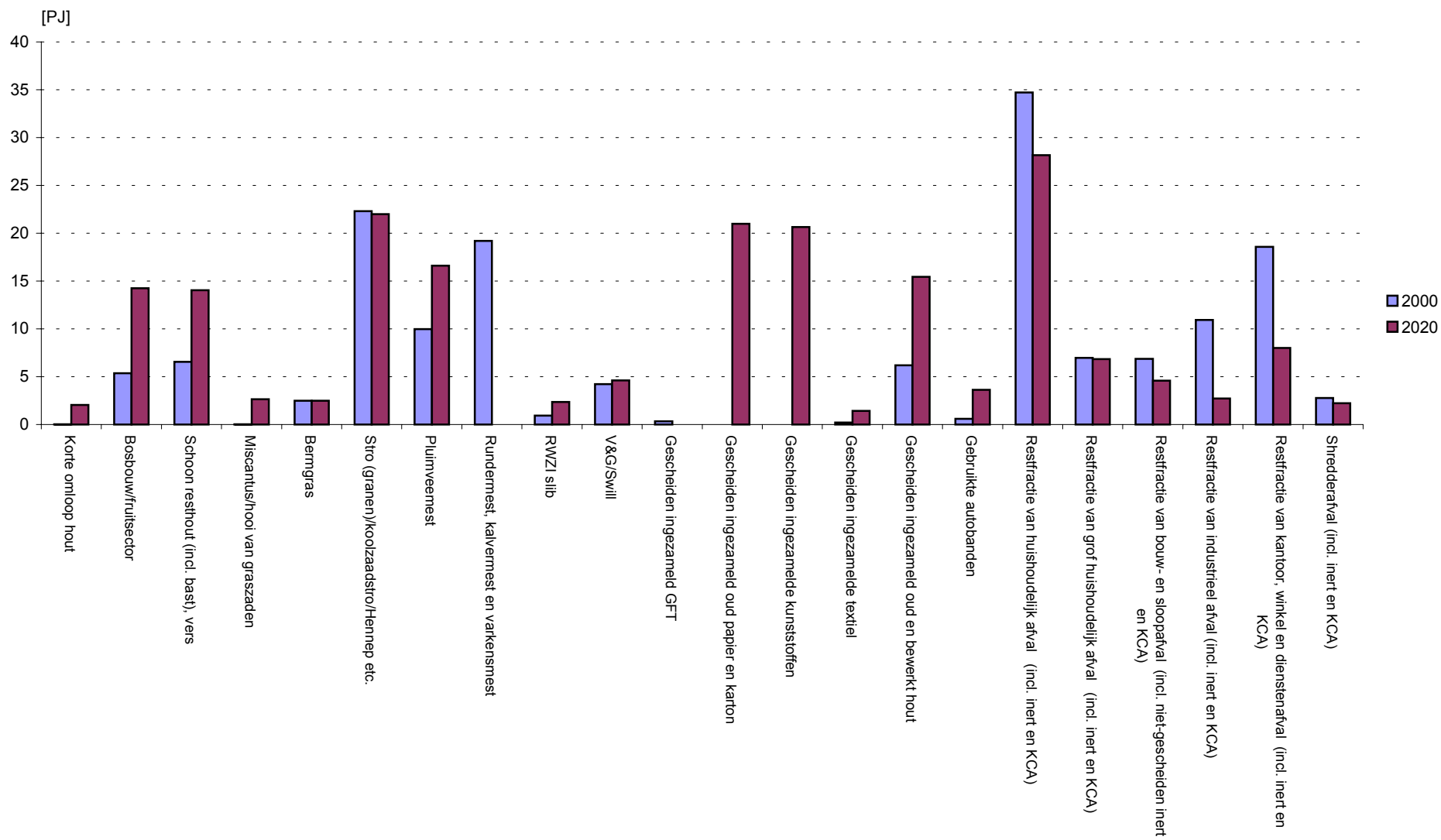
- Koolzaad(zaad) is geschrapt vanwege de zeer hoge prijs in termen van energie-inhoud (100 gld/GJ).
- Bosbouw bijproducten en hout uit de fruitsector (etc.) zijn samengevoegd, omdat ze vergelijkbare energie-inhoud en prijs hebben.
- Hetzelfde geldt voor Miscanthus en hooi van graszaden; en voor stro (granen) en koolzaadstro. De zeer kleine stroom hennep en vlas is toegevoegd aan stro (granen) en koolzaadstro.
- Swill (ook zeer klein van omvang) is samengevoegd met reststromen uit de voeding- en genotmiddelenindustrie (V&G).
- Reinigingsdienstenafval is geschrapt vanwege de zeer kleine omvang.

De prijzen per ton volgens (Koppejan, 2000) zijn omgerekend naar een prijs in gld/GJ. Van de ongeveer 160 PJ beschikbare stromen heeft ongeveer 120 PJ een negatieve prijs. De hier genoemde prijzen vormen het midden van de ranges die TNO heeft opgegeven. In Figuur 3.1 zijn de hoeveelheden en prijzen grafisch weergegeven in één figuur, waarbij de stromen gesorteerd zijn op hoeveelheid (van groot naar klein). Wat direct opvalt, is dat er onder de stromen van substantiële omvang slechts één is met hoge kosten. RWZI-slib is buiten de figuur gelaten, omdat het met een prijs van -75 gld/GJ de leesbaarheid van de grafiek sterk zou verminderen.

In Figuur 3.2 is weergegeven wat er in het gekozen beschikbaarheidsscenario verandert tussen 2000 en 2020. De beschikbaarheid van een aantal houtstromen en de stromen gescheiden ingezameld oud papier en karton en kunststoffen nemen sterk toe. De restfracties nemen daardoor in omvang af. Verder daalt de beschikbaarheid van rundermest naar nul in 2020.



Figuur 3.1 Omvang en prijs van biomassa- en afvalstromen 2000



Figuur 3.2 *Verandering omvang stromen 2000-2020 (scen.2)*

In het eindrapport van taak 1 is aangegeven dat aan de beschikbaarheidsscenario's aannames ten grondslag liggen ten aanzien van beschikbaarheid van technologieën en concurrentie met andere toepassingen. Dit beperkt de beschikbaarheid van afval en biomassa voor energieopwekking. Als deze veronderstellingen worden losgelaten, is er in principe veel meer biomassa en afval beschikbaar, echter waarschijnlijk tegen hogere prijzen. Immers, juist omdat er sprake is van concurrentie met andere toepassingen, zal er een prijsopdrijvend effect optreden als men deze stromen voor energieopwekking zou willen inzetten. Deze extra beschikbaarheid is verwerkt in één van de marsroutes in Hoofdstuk 7. In de rest van dit rapport wordt met 'beschikbaarheids-scenario 2' gewerkt, en niet met de maximale beschikbaarheid.

3.2 De technologieën

Door TNO en ECN is een inventarisatie gemaakt van relevante technologieën en hun kentallen (Zeevalkink, 2000). In onderstaande tabel is de lijst met technologieën weergegeven.

Tabel 3.2 *Lijst met technologieën (tenzij anders vermeld wordt bij 'bijstook' en 'meestook' bedoeld: in een poederkoolcentrale)*

CFB-vergasser-gasmotor, 3 MW _e	Zelfstandige elektriciteit- en warmteproductie
CFB-vergasser-STEG, 30 MW _e	Zelfstandige elektriciteit- en warmteproductie
CFB-vergasser-STEG, 150 MW _e	Zelfstandige elektriciteit- en warmteproductie
BFB-turbine, 10 MW _e	Zelfstandige elektriciteit- en warmteproductie
FB-gasmotor, 1 MW _e	Zelfstandige elektriciteit- en warmteproductie
Verbranding, wervelbed, 25 MW _e	Zelfstandige elektriciteit- en warmteproductie
Verbranding, AVI	Zelfstandige elektriciteit- en warmteproductie
Flash pyrolyse voor meestoken	Bijstook in kolencentrale; spaart koleninzet uit
Pyrolyse gasmotor-stoomturbine, 8 MW _e	Zelfstandige elektriciteit- en warmteproductie
Pyrolyse STEG, 25 MW _e	Zelfstandige elektriciteit- en warmteproductie
HTU voor meestook	Bijstook in kolencentrale; spaart koleninzet uit
Natte vergisting	Kleinschalige elektriciteits- en warmteproductie
Droge vergisting	Productie groen gas, vervangt aardgas
Meestook in kolencentrale (direct en indirect)	Meestook in kolencentrale; spaart koleninzet uit
Bijstook na vergassing (aparte technologie voor schone en vuile stromen)	Bijstook in kolencentrale; spaart koleninzet uit
Bijstook na pyrolyse, schone stromen)	Bijstook in kolencentrale; spaart koleninzet uit
Bijstook in aardgas-STEG	Bijstook in gascentrale; spaart gasinzet uit
Bijstook in KV/STEG	Bijstook in kolencentrale; spaart koleninzet uit
Stoomzijdige integratie bij kolen- of gascentrale	Bijstook in kolen- of gascentrale; spaart kolen- of gasinzet uit
Kleinschalige verbranding, 1MW _{th}	Warmteproductie (industrieel)

In Bijlage B zijn de kosten en energierendementen samengevat zoals die in taak 2 zijn verzameld voor de verschillende conversietechnologieën. Tevens is aangegeven welke ontwikkeling er nog mogelijk wordt geacht ten aanzien van kosten en energierendement in de periode 2000-2020. Na de tabel in Bijlage B volgt een toelichting betreffende de benadering die is gekozen voor de operationele kosten en het te hanteren aantal uren dat de installatie jaarlijks beschikbaar is.

Opmerkingen bij deze tabel:

- Voor de CFB-vergasser van 150 MW_e en HTU is verondersteld dat ze pas vanaf 2010 commercieel inzetbaar zijn.
- Voor de CFB-vergasser van 30 MW_e en de pyrolyse-STEG is verondersteld dat ze pas vanaf 2005 commercieel inzetbaar zijn.

- De beide stand-alone pyrolyse-varianten zijn gebaseerd op het Gibros PEC procédé. Dat is een modulair proces voor de omzetting van afval en biomassa in synthesegas en/of warmte en toepasbare producten (basalt en verschillende metaaltracties).
- Bij de KV/STEG zijn in principe dezelfde bij- en meestookmogelijkheden aanwezig als bij poederkoolcentrales. In de berekeningen is slechts één bijstookoptie meegenomen (gebaseerd op de cijfers voor vergassing-bijstook).
- Natte vergisting is hier gemodelleerd als kleinschalige (op de boerderij) verwerking van runder-, kalver- en varkensmest, met productie van elektriciteit in een gasmotor. Het is bovendien de enige technologie voor deze stroom.
- De restfracties van huishoudelijk en KWD-afval kunnen na intensieve voorbereiding (pelletiseren) geschikt gemaakt worden voor wervelbedverbranding (en dus ook voor stoomzijdige integratie). Van vergassing van deze restfracties wordt afgezien vanwege de grote technologische onzekerheden en problemen met het geproduceerde vliegias.
- Bij- en meestook is niet alleen een optie voor centrales die al enige jaren staan, maar ook voor nieuw te bouwen centrales, waarbij dan de ‘ombouw’ voor bij- of meestook direct bij de bouw van de centrale plaatsvindt.
- Onder stoomzijdige integratie wordt verstaan: wervelbedverbranding (incl. rookgasreiniging) en benutting van de geproduceerde stoom in het stoomcircuit van een kolen- of aardgascentrale. Stoomzijdige integratie in een aardgascentrale wordt alleen als optie meegenomen bij nieuw te bouwen aardgas-STEG’s, waarvan het stoomcircuit bij de bouw gedimensioneerd kan worden op stoomzijdige integratie.

Bij het opstellen van de kentallen van deze technologieën is rekening gehouden met de bestaande milieuwetgeving. Aanvullende rookgasreinigingseisen ten opzichte van de NER worden door de overheid overwogen voor installaties die biomassa verwerken. Op grond van (CE, 1999) is aangenomen dat dit geen significante kostenstijging tot gevolg zal hebben, met uitzondering van de investeringskosten in kleinschalige verbrandingsinstallaties.

3.3 Keuze van stroom-technologie combinaties

Het oorspronkelijke aantal stromen is van 29 ingeperkt tot 22. Het aantal technologieën bedraagt 23, waarbij directe en indirecte meestook als aparte technologieën worden geteld, evenals stoomzijdige integratie bij een gascentrale en bij een kolencentrale.

Dit geeft in principe 506 combinaties. Het projectteam heeft gezamenlijk aangegeven welke combinaties niet relevant worden geacht. Van die 506 combinaties zijn dat er 252. Er blijven dus 254 combinaties over, die meegenomen zijn in de berekeningen.

Verder is van belang dat in dit stadium nog niet wordt gekeken of de omvang van de stroom en de schaal van de technologie wel bij elkaar passen. M.a.w. de 150 MW vergassing-STEG wordt ook ‘losgelaten’ op hele kleine stromen. Bij de invulling van marsroutes worden stromen samengevoegd.

3.4 Voorbewerking en transport van biomassa en afval

In Bijlage C zijn de kentallen weergegeven die gebruikt zijn voor kosten en energiegebruik van voorbereiding en transport van biomassa afval. Deze kentallen zijn overgenomen uit (Zeevalkink, 2000). Per stroom-technologie combinatie is bepaald welke voorbereiding noodzakelijk is. De kosten en energiegebruik van transport worden bepaald door grootschaligheid van de technologie en het decentrale versus centrale karakter van het gebruik van de biomassa- en afvalstromen. Het elektriciteitsverbruik van voorbereiding wordt met een vast elektrisch rendement van 40% omgerekend naar brandstof.

Het totale energieverbruik wordt vervolgens uitgedrukt als een percentage van de energie-inhoud van de betreffende stroom. Voor de meeste combinaties komt het energiegebruik van voorbereiding neer op hoogstens enkele procenten van de energie-inhoud van de stroom. De enige percentages boven de 10% komen voor bij RWZI-slib (vanwege de lage energie-inhoud per ton) en bij de voorbereiding van restfracties voor directe meestook in kolencentrales.

Voor de natte stromen zijn de kosten van voorbereiding significant (15 gld/GJ en meer). Voor de andere stromen variëren de kosten van 0 tot 10 gld/GJ (n.b.: de prijzen van kolen en gas voor centrales bedragen resp. ongeveer 4 en 6 gld/GJ).

Het energiegebruik van transport is in de meeste gevallen minder dan 1% van de energie-inhoud, de kosten zijn in de meeste gevallen enkele gld/GJ.

Te bedenken valt dat bij de stromen met een lage energie-inhoud per ton product de kosten van voorbereiding en transport per GJ weliswaar hoog zijn, maar dat de prijs van die stromen om dezelfde reden erg laag zijn (vaak sterk negatief, zie Paragraaf 3.1).

4. METHODOLOGIE EN UITGANGSPUNTEN

4.1 Uitwerking methodologie

Weergave rentabiliteit

De rentabiliteit wordt op de volgende manieren weergegeven:

1. Netto contante waarde (NCW) van de investering. Hierbij wordt vanzelfsprekend rekening gehouden met alle subsidies, fiscale faciliteiten etc. Er wordt gerekend met een afschrijftermijn van 15 jaar en een disconteringsvoet van 11,6%. In principe voldoen alle projecten met een positieve NCW aan het rentabiliteitscriterium. Echter, om binnen de projecten met positieve NCW toch een rangorde aan te kunnen geven, wordt ook gekeken naar:
2. NCW gedeeld door de hoogte van de investering.
3. Terugverdientijd in jaren. De terugverdientijd is hier gedefinieerd als het aantal jaren dat het duurt voordat de gecumuleerde cash-flows de initiële investering overtreffen (waarbij rente en/of aflossing niet meetellen in de cash-flows).
4. (bij elektriciteitsopwekking) prijs in ct/kWh (excl. afdrachtskorting en groene stroom bijdrage).
5. (bij biomassa-opties) gulden per ton uitgespaarde CO₂. Hierbij worden subsidies en (ont-)heffingen niet meegerekend.

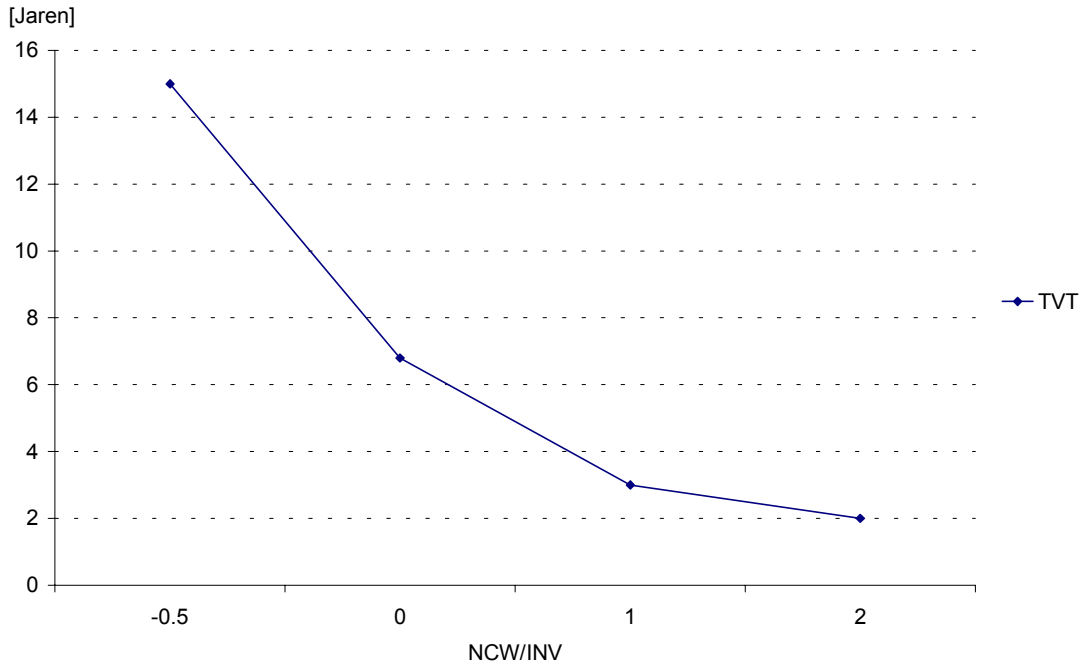
Relatie tussen de verschillende rentabiliteitscriteria

Bij een tamelijk constante jaarlijkse cash-flow komt een positieve NCW bij een disconteringsvoet van 11,6% en een afschrijftermijn van 15 jaar overeen met een terugverdientijd van minder dan 7 jaar (om precies te zijn, de NCW is gelijk aan nul bij een terugverdientijd van 6,8 jaar). De NCW gedeeld door de investering bereikt de waarde 1 bij een terugverdientijd van ruim 3 jaar, en een waarde van 2 bij een terugverdientijd van net 2 jaar. Bij een terugverdientijd van 15 jaar is de NCW gedeeld door de investering gedaald tot -0,5. Een negatieve jaarlijkse cash-flow, hetgeen betekent dat de investering dus nooit wordt terugverdiend, komt overeen met een NCW gedeeld door de investering van -0,9 of lager.

Tabel 4.1 *Relatie tussen terugverdientijd en NCW gedeeld door de investering*

NCW gedeeld door de investering	Terugverdientijd
Groter dan nul	Korter dan 6,8 jaar
1	Ruim 3 jaar
2	2 jaar
-0,5	15 jaar
Kleiner dan -0,9	Oneindig

De relatie tussen NCW/INV en terugverdientijd is grafisch weergegeven in Figuur 4.1.



Figuur 4.1 *Verband tussen terugverdientijd en Netto Contante Waarde per geïnvesteerde gulden*

Bij de berekening van de rentabiliteit wordt de hoeveelheid benodigde input bepaald door de grootte van de technologie. De betreffende stroom kan echter wel eens veel groter of kleiner zijn dan die benodigde hoeveelheid. Als de biomassa- of afvalstroom veel groter is, dan kunnen er dus meerdere installaties weggezet worden. Als de stroom veel kleiner is dan de benodigde hoeveelheid, dan zullen er dus stromen gecombineerd moeten worden, of de combinatie valt toch af.

4.2 Kwalitatieve beoordeling van Stroom-Technologie-Combinaties

Inleiding

Marsroutes worden opgebouwd uit geselecteerde Stroom-Technologie-Combinaties (STC). De beoordeling vindt in eerste instantie plaats op basis van kwantitatieve criteria. Voor het bedrijfseconomisch perspectief is dit NCW/inv (Netto Contante Waarde gedeeld door de investeringskosten). Voor het overheidsperspectief is dit de hoeveelheid uitgespaarde fossiele brandstof. De netto contante waarde is gebaseerd op aannames betreffende kosten en rendementen van technologieën. In deze aannames zitten de nodige onzekerheden. Daarnaast kunnen de verschillen in NCW tussen de STC's gewoon klein zijn en zullen, ook in de praktijk (voor zowel het bedrijfseconomisch- als overheidsperspectief), andere redenen de doorslag kunnen geven voor de selectie voor een specifieke STC. Voor het bedrijfseconomisch perspectief worden daarom aanvullende kwalitatieve criteria gehanteerd om de STC's te beoordelen en uiteindelijk één specifieke STC te selecteren.

Kwalitatieve criteria

In Tabel 4.2 staan de aanvullende kwalitatieve criteria beschreven.

Tabel 4.2 *Aanvullende criteria voor de beoordeling van STC's*

Aanvullende criteria	
1	Risico's en onzekerheden van ontwikkelingsperspectief van de technologie.
2a	Beperkingen aan de inputkant van de technologieën selectief qua brandstof, mogelijke problemen in aanvoer van brandstof, etc.
2b	Beperkingen aan de outputkant van de installaties: aansluiting op energie-infrastructuur (energie- en warmte-afzet), etc.

Voor de beoordeling van technologieën op criterium 1 wordt een schaal van -2 tot +2 gebruikt. Voor de beoordeling van technologieën op criteria 2 wordt een schaal van -1 tot +1 gebruikt.

Criteria 1, 2a en 2b hebben een zekere tijdsafhankelijkheid. Voor criterium 1 is deze tijdsafhankelijkheid evident en van grote invloed. Verondersteld wordt dat de technologische onzekerheden en risico's in 2020 tot nul zijn gereduceerd. De gewichtsfactor voor criterium 1 neemt dus tot 0 af in 2020.

In Tabel 4.3 staan de scores voor de verschillende technologieën. Deze scores zijn vastgesteld door het projectteam. In de laatste kolom staat de totaalscore voor de kwalitatieve factoren voor de eerste periode.

Tabel 4.3 *Kwalitatieve scores van technologieën*

	criteria			Totaalscore eerste periode
	1	2a	2b	
CFB-vergasser-gasmotor, 3 MW _e	-1	-1	1	-1
CFB-vergasser-STEG, 30 MW _e	-1	-1	0	-2
CFB-vergasser-STEG, 150 MW _e	-2	-1	-1	-4
Bijstook in KV/STEG	0	0	1	1
BFB-turbine, 10 MW _e	-1	0	1	0
FB-gasmotor, 1 MW _e	0	0	1	1
Verbranding, wervelbed, 25 MW _e	2	0	0	2
Verbranding, AVI	2	1	0	3
Flash pyrolyse voor meestook	-1	0	1	0
Pyrolyse gasmotor-stoomturbine, 8 MW _e	1	0	1	2
Pyrolyse STEG, 30 MW _e	-2	0	0	-2
Bijstook na vergassing, 'vuile' stromen	1	-1	1	1
Stoomzijdige integratie bij gascentrale	2	1	-1	2
Directe meestook in kolencentrale	2	-1	1	2
Bijstook na pyrolyse, 'vuile' stromen	-1	0	1	0
HTU voor meestook	-1	1	1	1
Natte vergisting	1	0	1	2
Droge vergisting	1	0	1	2
Indirecte meestook in kolencentrale	-2	-1	1	-2
Bijstook na vergassing, schone stromen	1	-1	1	1
Bijstook na pyrolyse, schone stromen	-1	0	1	0
Bijstook in aardgas-STEG	0	-1	1	0
Stoomzijdige integratie bij kolencentrale	2	0	0	2
Kleinschalige verbranding, 1MW _{th}	0	0	0	0

Selectie van STC's

Stap 1 Voorselectie

Per stroom vindt de voorselectie plaats op basis van de NCW/inv. Uitgaande van een onzekerheid van 40% in de berekende NCW's, vallen die STC's af die zelfs met een 40% hogere NCW

het toch nog verliezen van de STC met de hoogste NCW, ook als die 40% tegenvalt. Dit betekent dat alleen technologieën waarvan de NCW/inv minstens 43% ($= (1 - 0,4)/(1 + 0,4)$) draagt van de maximale NCW door de voorselectie komen.

Stap 2 Selectiescore

Vervolgens vindt er weging plaats tussen de NCW/inv enerzijds en de totaalscore voor de kwalitatieve criteria anderzijds. Het gewicht van de kwalitatieve criteria in die weging wordt per stroom als volgt vastgesteld. De kwalitatieve totaalscore kan (in de eerste periode) variëren van -4 tot +4. Als de STC met de hoogste NCW/inv een score van -2 heeft, dan moet de STC met de allerlaagste NCW/inv en een kwalitatieve score van +2 het nog kunnen winnen.

In Tabel 4.4 is een voorbeeld weergegeven voor alle technologieën die schoon resthout kunnen verwerken. Op grond van het criterium in stap 1 komen slechts drie technologieën door de voorselectie. Voor deze drie technologieën wordt de totaalscore bepaald zoals zojuist beschreven. Uit dit voorbeeld blijkt dat de kwalitatieve criteria de rangorde van STC's kunnen doen veranderen.

Tabel 4.4 *Voorbeeld selectie (laatste periode)*

	NCW/inv	Rang NCW	Totaalscore	Rang score
CFB-vergasser-gasmotor, 3 MW _e	0,21	12	-	-
CFB-vergasser-STEg, 30 MW _e	0,00	14	-	-
CFB-vergasser-STEg, 150 MW _e	0,57	10	-	-
Bijstook in KV/STEg	4,61	3	6,614174	2
BFB-turbine, 10 MW _e	0,06	13	-	-
FB-gasmotor, 1 MW _e	-0,71	18	-	-
Verbranding, wervelbed, 25 MW _e	0,96	9	-	-
Pyrolyse gasmotor-stoomturbine, 8 MW _e	-0,62	17	-	-
Pyrolyse STEg, 30 MW _e	-0,44	16	-	-
Flash pyrolyse voor meestook	0,27	11	-	-
HTU voor meestook	1,95	5	-	-
Indirecte meestook in kolencentrale	5,65	2	4,65	3
Bijstook na vergassing, schone stromen	8,77	1	9,28	1
Bijstook na pyrolyse, schone stromen	1,27	8	-	-
Bijstook in aardgas-STEg	1,84	7	-	-
Stoomzijdige integratie bij kolencentrale	2,32	4	-	-
Kleinschalige verbranding, 1MW _{th}	-0,37	15	-	-
Stoomzijdige integratie bij gascentrale	1,85	6	-	-

4.3 Uitgangspunten

Energieprijzen

De energieprijzen zijn conform de studie die onlangs door ECN is uitgevoerd voor EZ betreffende de rentabiliteit van warmte/kracht (van Dril, 1999). Er zijn daarbij twee prijspaden gehanteerd. In het lage prijspad dalen de gasprijs en de kolenprijs in de periode 2000-2020 en blijft er overcapaciteit in de elektriciteitssector, zodat de prijs van elektriciteit bepaald wordt door de marginale kosten. In het hoge prijspad stijgt de prijs van aardgas, blijft de kolenprijs ongeveer constant en verdwijnt de overcapaciteit op de elektriciteitsmarkt, zodat de prijs bepaald wordt door de gemiddelde kosten (dus ook vaste kosten van centrales kunnen verwerkt worden in de prijs). In de base case berekeningen is uitgegaan van het midden van deze twee paden. In onderstaande tabel zijn een aantal prijzen weergegeven voor 2000 en 2020. In de prijzen zitten behalve de BSB geen heffingen verwerkt.

Tabel 4.5 *Energieprijzen*

		2000			2020		
		laag	gem.	hoog	laag	gem.	hoog
Gasprijs centrales	[gld/GJ]	6,5	5,6	4,6	6,8	5,9	4,9
Warmteprijs	[gld/GJ]	11,2	10,3	9,3	11,8	10,8	9,9
Vermeden inkoop, LS	[ct/kWh]	15,1	12,9	10,7	13,9	11,3	8,7
Vermeden inkoop, MS	[ct/kWh]	13,7	11,5	9,3	12,8	10,3	7,8
Commodity elektriciteit	[ct/kWh]	9,7	7,4	5,2	9,4	7,2	5,0
Kolenprijs centrales	[gld/GJ]	4,8	4,4	4,0	4,1	3,8	3,5

Beleidsinstrumentarium

De hoogte van de fiscale instrumenten zijn gebaseerd op het huidige niveau. Voor zowel EIA als VAMIL is aangenomen dat alleen investeringen waarbij het gaat om energieopwekking uit biomassastromen in aanmerking komen. Dat betekent dat investeringen waarbij de restfracties of stromen met niet-organische oorsprong geen EIA en VAMIL ontvangen. De tarieven van de REB zijn conform de geplande hoogte voor 2001. Omdat rond de hoogte van de afdrachtskorting volgend jaar nog geen duidelijkheid is, wordt uitgegaan van de huidige hoogte.

Tabel 4.6 *Beleidsinstrumentarium (constant in de tijd)*

EIA, als subsidiepercentage op de investering	[%]	15
VAMIL, als subsidiepercentage op de investering	[%]	10
Afdrachtskorting	[ct/kWh]	3,54
Afdrachtskorting warmte	[gld/GJ]	3,54
Afdrachtskorting gas	[gld/GJ]	3,29
REB [ct/m ³], KV		12,44
REB [ct/kWh], KV		3,85
REB [ct/m ³], GV		2,37
REB [ct/kWh], GV		0,74

N.B. de REB-tarieven voor kleinverbruikers zijn voor verbruiken vanaf 5000 m³ en 10.000 kWh.

Waardering duurzame energie

Specifiek voor duurzame energie gelden de afdrachtskorting voor duurzame elektriciteit en duurzaam gas en het nihiltarief voor groene stroom. Zolang groene stroom aan kleinverbruikers wordt verkocht, dan vormen de REB en de afdrachtskorting samen een soort minimum waarde voor het duurzame karakter van groene energie. De huidige REB voor kleinverbruikers (8,2 ct/kWh) en de afdrachtskorting (3,54 ct/kWh) bedragen gezamenlijk ongeveer 11,5 ct/kWh. Volgend jaar gaat de REB naar 12,11 ct/kWh. De hoogte van de afdrachtskorting voor duurzame elektriciteit in 2001 is nog onzeker.

Volgens Art 36i, lid 6 van de Wet Belastingen op Milieugrondslag mag alle stroom die valt onder de definitie van groene stroom (Art. 360, lid 1: ‘...opgewekt door middel van windenergie, zonne energie, kleinschalige waterkracht of installaties waarin biomassa zonder bijstook of bijmenging van kunststoffen thermisch wordt verwerkt onder omzetting in elektriciteit...’) tegen het nihiltarief verkocht worden, mits daar een specifiek contract voor is gesloten en levering aan het Nederlandse net plaatsvindt. De grote energiebedrijven in Nederland voeren wat dit betreft niet allemaal hetzelfde beleid. De Natuurstroom van de NUON omvat alleen elektriciteit uit zon, wind en water. Essent verkoopt de elektriciteit uit Cuijk wel als groene stroom, maar de stroom uit bijstook in de Amercentrale niet. In de huidige situatie kan dus gesteld worden dat biomassa-projecten niet per definitie profiteren van het nihiltarief. Per 1 januari 2001 wordt een systeem van groencertificaten ingevoerd. Welke vorm dat systeem zal krijgen is nog onduidelijk. Wel kan gesteld worden dat het duurzame karakter van alle vormen van duurzame energie een geldelijke waarde zal krijgen. Hoe hoog die waarde zal zijn is onduidelijk. Bijv: ontstaan er

separate markten voor verschillende vormen van duurzame energie, met verschillende prijzen, of komt er één markt met één prijs?

Hier wordt de volgende opstelling gekozen. Als de afdrachtkorting blijft bestaan, vormen het nihil-tarief en de REB-afdrachtkorting in principe een prijsprikkel van 15 à 16 ct/kWh. Of dat ook de waarde van een biomassa-groencertificaat wordt is onzeker. Voorlopig wordt daarom uitgegaan van een 'waarde' van de huidige afdrachtkorting plus de huidige REB, dus 8,2 + 3,54 ct/kWh. De 8,2 ct/kWh wordt in dit rapport de 'Groene Stroom vergoeding' genoemd, waarbij in het midden gelaten wordt of deze geldelijke waardering voortkomt uit een vrijwillige vraag of een verplichting voor duurzame energie.

Volgens de wet komen alle biomassa-stromen voor de afdrachtkorting en de Groene Stroom vergoeding in aanmerking, maar met kunststoffen gemengde stromen niet. Dit leidt tot een aantal 'bespreekgevallen'. Hier wordt aangenomen dat gescheiden ingezameld oud en bewerkt hout en oud papier en karton wel aan de wetsdefinitie van biomassa voldoen, maar gescheiden ingezameld textiel niet. Verder wordt aangenomen dat de restfracties wel voor 50% afdrachtkorting REB krijgen (dat is als uitzondering in de wet zo geregeld), maar geen vergoeding voortvloeiend uit het nihil-tarief. Volgens de letter van de wet komen afvalstromen niet in aanmerking voor een (gedeeltelijk) nihil-tarief. In Paragraaf 5.5.4 wordt in een gevoeligheidsanalyse nagegaan wat het effect op de resultaten is indien bepaalde stromen en/of technologieën niet in aanmerking komen voor een Groene Stroom vergoeding.

Overigens neemt de organische fractie van het huishoudelijk afval in het gekozen beschikbaarheidsscenario sterk toe, omdat kunststoffen gescheiden ingezameld worden. Dit zou pleiten voor een hoger percentage van 50% voor de afdrachtkorting. Toch wordt met 50% gerekend, omdat die 50% 'hard' in de wet staat en niet expliciet gekoppeld is aan de samenstelling van het afval.

De 'waardering' van duurzame elektriciteit is alleen toegepast op het aan het net geleverde deel van de elektriciteitsproductie. Dit betekent in de praktijk dat (kleine) wkk-installaties die ook voor eigen gebruik produceren hier minder van profiteren (zie ook volgende punt over wkk).

In de toekomst zal waarschijnlijk een internationale handel in groencertificaten ontstaan. De prijs van offshore wind zou dan wel eens de marktprijs voor groencertificaten kunnen gaan bepalen. Als offshore wind bijvoorbeeld 20 ct/kWh gaat kosten en kolen/gas-stroom 6 ct/kWh, dan wordt de prijs van groencertificaten 14 ct/kWh. Maar de prijs van offshore wind zou lager kunnen zijn. Momenteel wordt 10 ct/kWh als een redelijke prijs voor groencertificaten gezien in een Europese markt voor duurzame energie. Als zo'n Europese markt gepaard gaat met afschaffing van 'marktverstoringen' als subsidies en afdrachtkortingen, dan zou de waardering van het duurzame karakter van biomassastroom wel eens een stuk lager kunnen zijn dan de stimulering nu (10 ct/kWh dan versus afdrachtkorting + groene stroom gelden + EIA/Vamil).

In onderstaande tabel is samengevat welke aannames zijn gedaan ten aanzien van de stimulering van duurzame energie wat betreft de fiscale faciliteiten.

Tabel 4.7 *Fiscale stimulering per stroom*

	EIA/Vamil?	Terugsluis REB	Nihiltarief?
Korte omloop hout	ja	100%	ja
Bosbouw/fruitsector	ja	100%	ja
Schoon resthout (incl. bast), vers	ja	100%	ja
Miscantus/hooi van graszaden	ja	100%	ja
Bermgras	ja	100%	ja
Stro (granen)/koolzaadstro/Hennep etc.	ja	100%	ja
Pluimveemest	ja	100%	ja
Rundermest, kalvermest en varkensmest	ja	100%	ja
RWZI slib	ja	100%	ja
V&G/Swill	ja	100%	ja
Gescheiden ingezameld GFT	ja	100%	ja
Gescheiden ingezameld oud papier en karton	ja	100%	ja
Gescheiden ingezamelde kunststoffen	nee	0%	nee
Gescheiden ingezamelde textiel	nee	0%	nee
Gescheiden ingezameld oud en bewerkt hout	ja	100%	ja
Gebruikte autobanden	nee	0%	nee
Restfractie van huishoudelijk afval (incl. inert en KCA)	nee	50%	nee
Restfractie van grof huishoudelijk afval (incl. inert en KCA)	nee	50%	nee
Restfractie van bouw- en sloopafval (incl. niet-gescheiden inert en KCA)	nee	50%	nee
Restfractie van industrieel afval (incl. inert en KCA)	nee	50%	nee
Restfractie van kantoor, winkel en dienstenafval (incl. inert en KCA)	nee	50%	nee
Shredderafval (incl. inert en KCA)	nee	50%	nee

Alleen elektriciteit of wkk?

Vaak is in de technologiegegevens alleen een elektrisch rendement gegeven. Daarom is er voor gekozen om, bij toepassing van gasturbines, met een eenvoudige rekenregel te werken voor wkk-bedrijf (elke MW_{th} gaat ten koste van $0,15 MW_e$ in; Kema-studie). Bij toepassing van gasmotoren zijn de elektrische en thermische rendementen bij wkk-bedrijf wel expliciet gegeven. Ook wordt gerekend met wat extra investeringskosten ($100 \text{ gld}/kW_{th}$), behalve bij de gasmotor-opties.

Met deze aannames en de per 1 januari van dit jaar ingevoerde afdrachtskorting voor duurzame warmte, verbetert de rentabiliteit in lichte mate indien van puur elektriciteitsbedrijf wordt overgeschakeld op warmte/kracht bedrijf. Deze conclusie geldt alleen als geen additionele investeringen nodig zijn voor bijv. warmtedistributie. Veel hangt dus af van de precieze locatie van installaties en de warmtevraag ter plaatse. Het is in het kader van deze studie niet mogelijk daar algemene uitspraken over te doen. In de basisberekeningen in dit project wordt uitgegaan van pure elektriciteitsproductie behalve bij de wat kleinschaliger opties ($10 MW_e$ of kleiner). Het gaat om 4 opties (zie Tabel 3.2). In de marsroutes zal aangegeven worden welk effect warmtelevering zou kunnen hebben op de totale omvang van uitgespaarde fossiele brandstoffen (zie Hoofdstuk 6).

Bij- en meestook in kolen- en gascentrales

Kolencentrales: er is een aantal centrales die tot na 2020 in bedrijf zal blijven (onder normale omstandigheden); daar hoeft de extra investering niet versneld worden afgeschreven. Daarnaast is er een aantal centrales die, bij een levensduur van ongeveer 30 jaar, in 2010 of vlak daarna uit bedrijf gaan. Aangenomen wordt dat in die centrales niet meer in bij/meestook geïnvesteerd zal worden in de periode 2005-2010. Voor de centrales die kort na 2020 uit bedrijf gaan, wordt aangenomen dat er in de periode 2015-2020 niet meer geïnvesteerd zal worden. Het is niet ondenkbaar dat de kolencentrales veel langer in bedrijf blijven dan hier verondersteld. In de vol-

gende hoofdstukken zal duidelijk worden in hoeverre dat de resultaten beïnvloedt. Bij de invulling van de marsroutes wordt uitgegaan van een maximale bij/meestook van 30% (energiebasis). Bij de KV/STEG wordt eveneens uitgegaan van 30%.

De onlangs gemaakte afspraken tussen de overheid en de energiebedrijven bevestigen de verwachting dat de bestaande kolencentrales niet voortijdig gesloten zullen worden.

Aardgascentrales: er wordt aangenomen dat alleen bij centrales die nog minimaal 15 jaar meegaan bij/meestook wordt overwogen, tot een maximum van 10% op energiebasis. In de berekeningen is aangenomen dat bijstook in gascentrales alleen plaatsvindt bij gascentrales die (grotendeels) in basislast draaien. Gasturbines voor de piek- en middenlast zijn dus niet meegenomen. Het voor bijstook geschikte opgestelde vermogen van moderne gascentrales (incl. industriële wkk) is het eerder genoemde scenario (EC) in 2010 zo'n 9.000 MW en in 2020 zo'n 11.000 MW.

Overeenkomstig Paragraaf 3.2 wordt stoomzijdige integratie in een gascentrale alleen als optie meegenomen bij nieuw te bouwen aardgas-STEG's, waarvan het stoomcircuit bij de bouw gedimensioneerd kan worden op stoomzijdige integratie. In de periode 2000-2010 neemt het opgestelde STEG-vermogen met zo'n 3000 MW toe, in de periode 2010-2020 met zo'n 1200 MW. Opgemerkt dient te worden dat dit cijfers zijn uit één van meerdere scenario's die al weer enkele jaren oud zijn.

Bedrijfstijden

De bedrijfstijd van een installatie is van grote invloed op de rentabiliteit. Het inschatten van de vollast-uren is een moeilijke zaak. Door de technologie-specialisten wordt veelal een zeer hoge technische beschikbaarheid verondersteld. Maar dat is nog iets anders dan vollast-uren in de praktijk. Voor de bij- en meestookopties bij kolen- en gascentrales wordt uitgegaan van 6000 vollasturen per jaar. Voor de AVI's wordt uitgegaan van 6500 uur (conform realisaties in afgelopen jaren; dit is dus niet de bedrijfstijd van de afvalverwerking, die veel hoger is, maar het aantal vollasturen elektriciteitsproductie). Voor de overige installaties wordt uitgegaan van 5000 uur. Dit komt overeen met de gemiddelde vollast-uren van al het decentrale vermogen in Nederland. In dat decentrale vermogen zitten naast zeer grote industriële installaties ook kleine gasmotoren en windturbines.

Er zijn redenen om aan te nemen dat dit hoger moet zijn dan de genoemde 5000 uren. Er is namelijk bij deze installaties een relatief zeer groot verschil tussen vaste en variabele kosten. Vaste kosten zijn relatief zeer hoog (hoge specifieke investeringskosten), variabele kosten juist heel laag (vaak negatieve brandstofprijzen en groene stroomvergoeding). Er zal de exploitant dus veel aan gelegen zijn om de installatie zoveel mogelijk uren te laten draaien. In de gevoeligheidsanalyses zal gekeken worden naar het effect van een hogere bedrijfstijd.

Bepaling uitgespaarde fossiele brandstoffen

In principe wordt de hoeveelheid uitgespaarde fossiele brandstof berekend volgens de methodiek zoals beschreven in het 'Protocol Monitoring Duurzame Energie' (Novem, september 1999). Die methodiek komt er op neer dat allereerst wordt uitgerekend hoeveel elektriciteit en warmte aan de biomassa mag worden toegerekend, waarna de uitgespaarde fossiele brandstof wordt uitgerekend via de rendementen van referentietechnologieën. In het geval van elektriciteit is dat het gemiddeld rendement van het elektriciteitspark in Nederland⁴.

Dit is de meest logische methodiek als het gaat om *nieuw* vermogen. In het geval van bij- en meestook gaat het echter in feite om *vervanging* van bestaand vermogen. Er wordt kolen- of gasinzet vervangen, dus er kan eenvoudig berekend worden wat *feitelijk* aan fossiele energie be-

⁴ Hierbij wordt geen rekening gehouden met eventuele neveneffecten (zoals bijvoorbeeld het eventueel langer openhouden van kolencentrales als gevolg van biomassa-bijstook).

spaard zal worden. Voor bij/meestook wordt daarom van de algemene methodiek afgeweken. De consequenties die dit heeft worden besproken in Paragraaf 6.4.

Het referentierendement voor elektriciteit loopt op van 46,5% in 2000 tot 51% in 2020. Het referentierendement voor warmte loopt op van 90% in 2000 naar 94% in 2020.

Restproducten

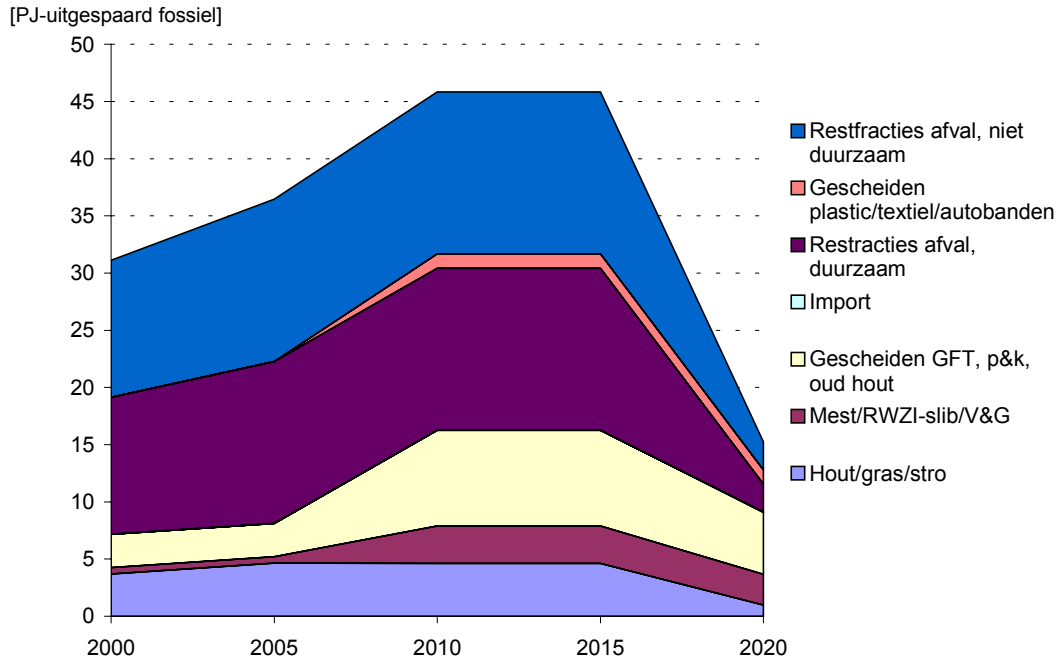
In de berekeningen is geen rekening gehouden met de kosten en opbrengsten van verkoop/verwerking van restproducten zoals de assen. De relatie tussen de eigenschappen van de assen en de waarde ervan valt buiten het bestek van deze studie. Impliciet wordt derhalve aangenomen dat deze problematiek geen invloed heeft op de keuze voor technologieën. Met name bij de verschillende verwerkingsroutes voor de restfracties afval verdient deze problematiek veel aandacht.

Wat betreft vergisting van runder- en varkensmest is een uitzondering gemaakt op deze aanname. Na vergisting blijft een product over dat in belangrijke mate dezelfde eigenschappen heeft als de mest en ook bijna dezelfde omvang in tonnen. Aangenomen mag worden dat dit restproduct tegen dezelfde kosten afgevoerd moet worden als de mest. Dat betekent dat in de berekeningen niet wordt gerekend met een 'brandstofprijs' die overeenkomt met de 'prijs' van -25 gulden per ton uit taak 1, maar met een 'brandstofprijs' van 0 gulden (zie ook Paragraaf 5.1).

Bestaande en geplande inzet van biomassa en afval

Bij het vaststellen van de beschikbaarheid van afval en biomassa in taak 1 is tevens aangegeven welke stromen nu al worden ingezet voor energie-opwekking. Deze stromen zijn immers niet meer beschikbaar voor de te maken marsroutes. Naast deze huidige inzet is er momenteel een groot aantal initiatieven, rijp en groen, dat mogelijk een deel van de beschikbare biomassa en afval 'vastlegt'. Ook daar moet bij de bepaling van de marsroutes rekening worden gehouden. In Bijlage D is een overzicht opgenomen van zowel de huidige inzet van biomassa en afval volgens taak 1, als een aantal initiatieven en plannen, waarvan wordt aangenomen dat ze doorgang zullen vinden.

In Figuur 4.2 is de omvang weergegeven van uitgespaarde fossiele brandstoffen als gevolg van de huidige inzet van biomassa en afval en de meegenomen plannen en initiatieven. Daarbij is aangenomen dat alle projecten een levensduur hebben van vijftien jaar. Dat betekent bijvoorbeeld dat van alle huidige AVI's is aangenomen dat ze in 2015 buiten gebruik worden gesteld. In werkelijkheid zou het wel eens zo kunnen zijn dat AVI's nog veel langer blijven draaien, al dan niet tussentijds gemoderniseerd. Om toch binnen de zichtperiode van het project (2020) de technologiekeuze voor restfracties van het afval mee te kunnen nemen, is aangenomen dat de nu bestaande AVI's in de periode 2015-2020 uit bedrijf gaan. Dit is een aanname die aanzienlijke invloed heeft op de speelruimte in de marsroutes: indien de bestaande AVI's langer in bedrijf blijven en/of alle initiatieven die er nu al zijn maar die nog niet zijn opgenomen in onderstaande figuren, doorgaan, dan zijn er überhaupt geen mogelijkheden om via de inzet van nieuwe technologie meer energie uit afval te winnen.



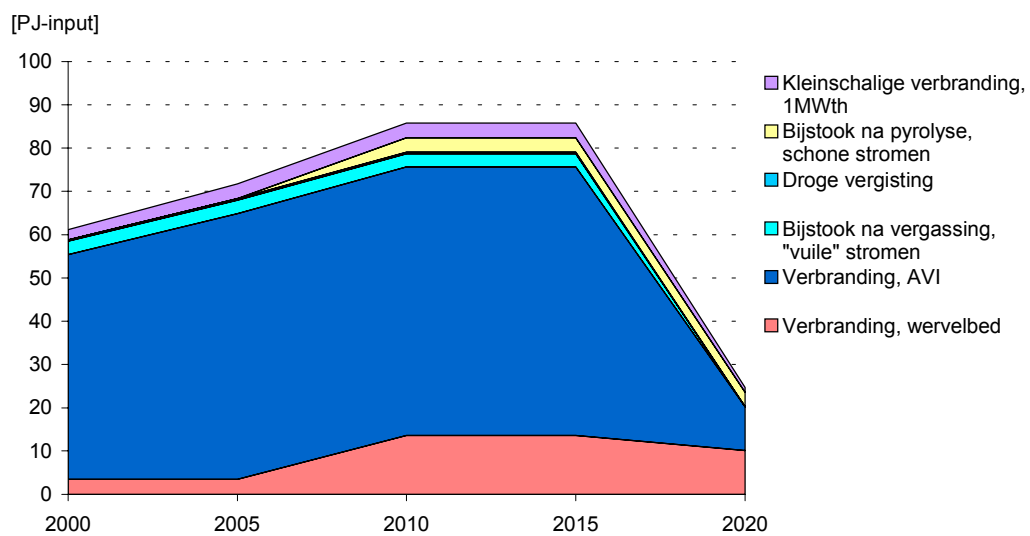
Figuur 4.2 *Uitgespaarde fossiele brandstoffen als gevolg van huidige en geplande inzet van afval en biomassa voor energie-opwekking*

Als we de ontwikkeling van de beschikbaarheid van afval voor energie-opwekking volgens het gebruikte scenario vergelijken met de huidige capaciteit van afvalverbranding en de plannen voor uitbreiding daarvan, dan lijkt daar een inconsistentie te bestaan. In het gehanteerde beschikbaarheidsscenario neemt de omvang van de restfracties van afval namelijk sterk af in de loop van de tijd, terwijl er plannen bestaan voor nieuwe verwerkingscapaciteit van 2500 kton (zie Bijlage D). Ook als slechts met duizend kton nieuwe capaciteit rekening wordt gehouden, zoals is gebeurd in bovenstaande figuur, ontstaat in de perioden 2005-2010 en 2010-2015 al overcapaciteit bij de AVI's.

In de eerste periode is juist nog afval beschikbaar, die niet in de geplande of bestaande AVI's gaat. Daarvoor wordt in deze studie aangenomen: als er technologieën (bijv. bijstook) zijn die een positieve NCW hebben, dan worden deze technologieën ingezet, ook al lijkt er momenteel weinig animo om op korte termijn (de komende jaren) andere technologieën dan de AVI's in te zetten. Door toch deze technologieën in te zetten, wordt aangegeven dat hier volgens de studie interessante mogelijkheden liggen. Indien er geen technologieën zijn die in de eerste periode een positieve NCW hebben, dan worden de betreffende afvalstromen niet ingezet voor energieopwekking.

Overigens wordt in alle marsroutes 50% van de restfracties tot duurzaam gerekend, ongeacht de veranderende samenstelling van die restfracties.

In Figuur 4.3 is aangegeven welke technologieën worden ingezet in de huidige en geplande installaties. Daaruit blijkt dat er wat betreft initiatieven die in de figuur vanaf 2005 zichtbaar worden, vooral veel wervelbedverbranding op stapel staat.



Figuur 4.3 *Technologie-inzet bestaande en geplande projecten*

5. HET BASISPAD VOLGENS HET BEDRIJFSECONOMISCH PERSPECTIEF

5.1 Economische rentabiliteit

In het basispad is uitgegaan van beschikbaarheid van afval en biomassa, zoals weergegeven in Paragraaf 3.1, en het huidige stimuleringsbeleid voor duurzame energie en energieprijzen zoals weergegeven in Paragraaf 4.3. In Tabel 5.1 is weergegeven hoeveel combinaties een positieve Netto Contante Waarde (NCW) hebben bij verschillende uitgangspunten t.a.v. het DE-beleid.

Tabel 5.1 *Aantal combinaties met positieve netto contante waarde (laatste periode)*

Omschrijving	Aantal combinaties met NCW>0
Basispad (huidig beleid, met groene stroom vergoeding)	122
Zonder groene stroom-vergoeding voor schone biomassa	72
Ook zonder EIA/VAMIL	60
Ook zonder afdr. Korting REB (dus geen specifiek beleid)	42
Europese heffing 25 Euro per ton CO ₂	65
Europese heffing 50 Euro per ton CO ₂	87

Het wegvallen van de groene stroom vergoeding leidt ertoe dat veel combinaties voor schone biomassa niet langer rendabel zijn. Uit de tabel blijkt verder dat een Europese heffing van 50 Euro per ton een minder positief effect op de rentabiliteit heeft dan het huidige beleid.

Voor elke marsroute worden een aantal zogenoemde kruistabellen gegenereerd. Voor het basispad zijn de tabellen weergegeven in Bijlage E.

In deze kruistabellen wordt per periode de matrix weergegeven in 3 varianten, waarbij steeds de grijze vakken de 254 combinaties weergeven die meegenomen worden:

1. Voor de combinaties met een positieve NCW wordt in het betreffende vakje het kental NCW/investering weergegeven. Per rij (dus per stroom) is de technologie met de hoogste waarde in zwart-wit weergegeven.
2. Idem dito, maar dan met scores i.p.v. NCW's. De scores zijn de gewogen gemiddeldes van NCW/inv en de kwalitatieve criteria. Nota bene: alleen combinaties die door de voorselectie (zie Paragraaf 4.2) komen, krijgen een score.
3. Voor de combinaties met een NCW>-0,5 (en dus een terugverdiëntijd korter dan 15 jaar) wordt in het betreffende vakje de omvang van uitgespaarde PJ's weergegeven. Per rij (dus per stroom) is de technologie met de hoogste waarde in zwart-wit weergegeven. Per kolom (dus per technologie) wordt bovendien gesommeerd over alle stromen met een positieve NCW.

Kanttekening: in de vierde periode is bij/meestook in kolencentrales volgens de aannames in Paragraaf 4.3 niet meer opportuun als er geen nieuwe kolencentrales bijkomen. De cijfers in de kruistabellen houden daar geen rekening mee. Dat wordt wel gedaan bij het invullen van de marsroutes.

Bespreking:

1. NCW>0. Voornaamste conclusie: voor alle stromen die rendabel verwerkt kunnen worden, heeft altijd een vorm van bij- of meestook in een kolencentrale de hoogste NCW. Na 2010, als bijstook in bestaande kolencentrales steeds minder opportuun wordt, is bijstook in een gascentrale rendabeler dan de rendabele stand-alone opties: wervelbedverbranding, de CFB-vergassers en de BFB-turbine. Voor huishoudelijk en KWD-afval laten directe meestook en wervelbedverbranding (al dan niet in combinatie met stoomzijdige integratie) een hogere NCW zien dan de AVI's. Natte en droge vergisting, de FB-gasmotor van 1 MW_e en klein-

schalige houtverbranding in de industrie zijn in alle periodes en voor alle stromen onrendabel (zie ook onder).

2. Scores > 0. De bij/meestookopties liggen qua NCW zover voor dat heel veel opties ondanks een positieve NCW toch niet mee doen. Dit is het gevolg van de aanname dat combinaties waarvan de NCW/inv 57% of meer lager is dan de hoogste NCW/inv voor de betreffende stroom, afvallen in het selectieproces (zie Paragraaf 4.2).
3. Maximale besparing fossiel bij NCW > -0,5. Per stroom is duidelijk dat qua besparing een groot aantal technologieën elkaar weinig ontloopt. Per technologie is het logisch dat de ‘alleseters’ het hoogste totaal bereiken. Ook hier bereiken de bij/meestookopties de hoogste scores (zie verder Hoofdstuk 6).

Speciale aandacht verdient de stroom runder-, kalver- en varkensmest. Vergisting van deze stroom is gemodelleerd op boerderijschaal. Aangenomen is (zie Paragraaf 4.3) dat het restproduct na vergisting tegen ongeveer dezelfde kosten zal moeten worden afgevoerd dan de oorspronkelijke mest. Feitelijk is de ‘brandstofprijs’ dus 0 gulden. Er zijn echter mogelijkheden om de rentabiliteit te verhogen door bijv. GF-afval, swill of bermgras bij te mengen bij de mest. Dit is wellicht vooral een optie als de mestvergisting min of meer centraal plaatsvindt. Doordat deze stromen ook een negatieve prijs hebben, kan voor de totale stroom toch met een negatieve ‘brandstofprijs’ gerekend worden. Bij een ‘brandstofprijs’ van -12 gld/ton (n.b. de prijs van de mest is -25 gld/ton) wordt mestvergisting-wkk rendabel in de berekeningen. De prijzen van GFT, swill en bermgras zijn ongeveer -70 gulden per ton. Door een kleine 25% (op gewichtsbasis) van deze stromen bij te mengen, wordt de gewenste -12 gld/ton als gemiddelde prijs van de stroom bereikt. Een dergelijk bijmengpercentage lijkt op grond van Deense ervaringen haalbaar. (Danish Institute of Agricultural and Fisheries Economics, 1999). Met name bermgras heeft een behoorlijke omvang (468 kton nat; 2,5 PJ). Bijmenging van deze stroom zou dus voor 1872 kton mest rendabele verwerking kunnen betekenen. Dit is overigens slechts een gering deel van de beschikbaarheid van mest (11250 kton in 2000, maar wel dalend naar nul in 2020 in het gehanteerde beschikbaarheidsscenario).

5.2 Biomassa versus aardgas?

In de gekozen methodiek is tot nu toe geen expliciet onderscheid gemaakt tussen ombouw van centrales (waarbij geen capaciteitsuitbreiding plaatsvindt) en nieuwbouw (d.w.z. uitbreiding van capaciteit). Vanwege die uitbreiding van capaciteit is de situatie bij nieuwbouw complex. In deze studie wordt geen uitspraak gedaan over de vraag of en zo ja hoeveel uitbreiding van capaciteit in het elektriciteitspark nodig zal zijn in de komende twintig jaar. In een geliberaliseerde Europese markt is dit een zeer complexe vraag die ver buiten het kader van deze studie valt. Het gehanteerde middenpad voor de elektriciteitsstarieven (zie het begin van deze paragraaf) is het gemiddelde van een prijspad waarin geen overcapaciteit is en een prijspad waarin dat wel het geval is. Strikt genomen past dit prijspad dus niet bij een situatie waar capaciteitsuitbreiding aan de orde is. Om de vraagstelling te kunnen beperken tot ‘biomassa en afval’ zonder de omvang en opbouw van het Europese elektriciteitspark in de komende twintig jaar te beschouwen, moeten de nodige abstracties gemaakt worden. Dat betekent dat vanuit een gegeven elektriciteitsprijs, zonder stil te staan bij de vraag van over/ondercapaciteit, gekeken wordt of nieuwe biomassa-centrales en ombouw rendabel zijn. Gezien de beperkte beschikbaarheid van biomassa is het, vanuit het oogpunt van zo rendabel mogelijk inzetten van die biomassa, daarbij terecht om ombouw van bestaande centrales en nieuwbouw te vergelijken⁵.

Bij bij/en meestook wordt primair gedacht aan ombouw van *bestaande* centrales. Het is echter ook denkbaar dat een nieuwe centrale gebouwd wordt die bij de bouw direct geschikt gemaakt wordt voor bij/meestook van biomassa en/of afval. Deze optie is tot nu toe niet expliciet aan de orde gekomen.

⁵ Nota bene: aangenomen wordt dat de vraag naar groene energie geen beperkende factor is. Als dit wel het geval zou zijn, zou dat een extra reden zijn om ombouw en nieuwbouw te vergelijken.

Getallenvoorbeeld:

- Bouw van een aardgascentrale van 500 MW, waarbij direct ombouw plaatsvindt voor 100 MW biomassa
- Bouw van een aardgascentrale van 400 MW plus bouw van 100 MW stand-alone biomassa-vermogen.

Beide opties leveren in totaal 500 MW nieuw vermogen, waarvan 100 MW biomassa. De eerste opties haalt een duidelijk hogere NCW/inv dan de tweede. Aangezien bij/meestook economisch veel rendabeler is dan stand-alone (zie Paragraaf 5.1), was deze uitkomst te verwachten. Echter, het is ook mogelijk dat stand-alone biomassa veel aantrekkelijker is dan stand alone aardgas. In dat geval zou het zinvol zijn om bovenstaande opties ook te vergelijken met:

- Bouw van 500 MW stand-alone biomassa-vermogen.

Voor de stromen met een negatieve of licht positieve prijs blijkt deze optie inderdaad een hogere NCW/inv te hebben dan de aardgas-STEG en ook dan de aardgas-STEG inclusief ombouw. Dit geldt met name voor wervelbedverbranding. De veel hogere investeringskosten worden gecompenseerd door de lagere brandstofkosten, de afdrachtkorting REB en de groene stroom vergoeding. Echter, zolang er bestaande STEG's of kolencentrales voorhanden zijn, blijft bij/meestook een rendabeler benutting van biomassastromen dan stand-alone opties.

5.3 Kosten en opbrengsten in ct/kWh

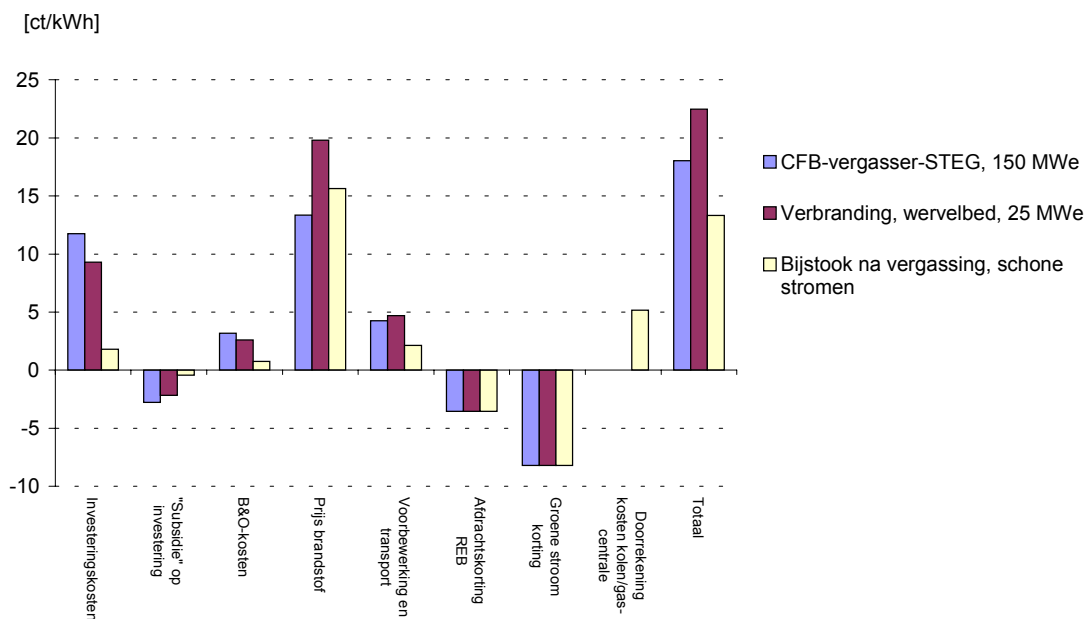
In dit rapport worden de bedrijfseconomische beslissingen gebaseerd op de Netto Contante Waarde van investeringen. Om vergelijkingen te maken met andere opties voor elektriciteitsopwekking, is de kostprijs in ct/kWh een gebruikelijk kental. De opbouw van de kWh-kosten, inclusief subsidie heffingen, wordt geïllustreerd in de volgende grafieken, waarin alle kosten en opbrengsten zijn uitgedrukt in centen per kWh. De investeringskosten zijn daarbij in een annuïteit vertaald met de rentabiliteitseis van 11,6%, over 15 jaar.

De grafieken hebben betrekking op de laatste periode (2015-2020). Voor de overige periodes zijn de getallen anders, maar de onderlinge verhoudingen komen behoorlijk overeen⁶.

Er zijn 4 stromen gekozen:

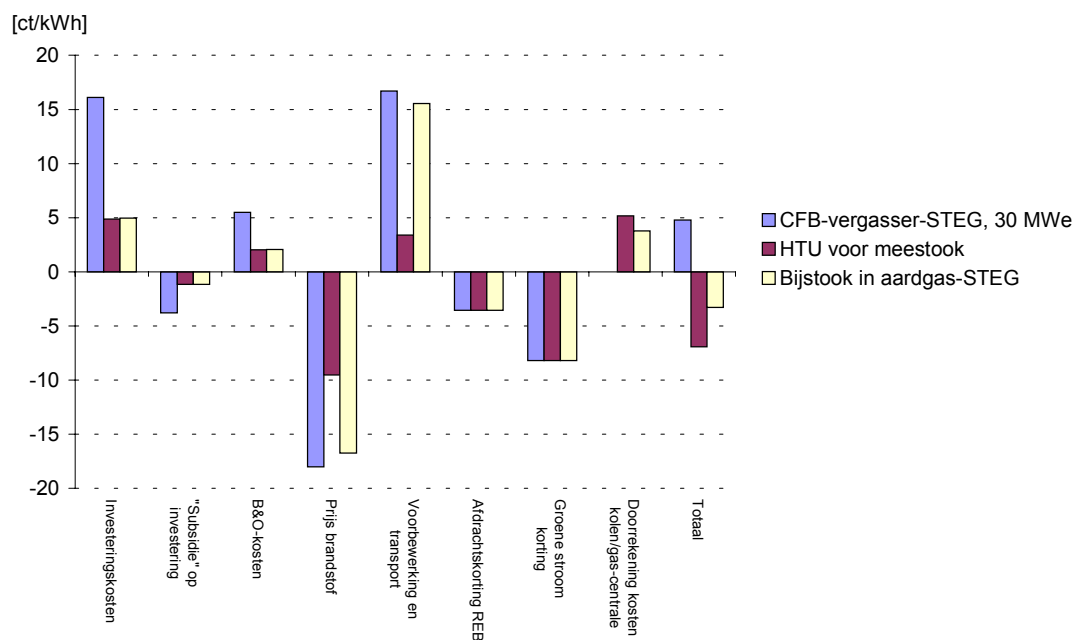
- Stro (granen)/koolzaadstro/hennep. Dit is een grote (dus belangrijke) stroom (ongeveer 20 PJ), maar met een forse positieve prijs (17 gld/GJ). Deze stroom kan niet rendabel verwerkt worden. Het is duidelijk dat de prijs van de brandstof hier vooral debet aan is.

⁶ In de vierde periode is bij/meestook in kolencentrales feitelijk niet meer opportuun als er geen nieuwe kolencentrales bijkomen. Het gaat in de figuren echter vooral om de onderlinge verhoudingen tussen technologieën. Daarom is voor deze figuren impliciet aangenomen dat er wel nieuwe kolencentrales staan in 2015-2020.



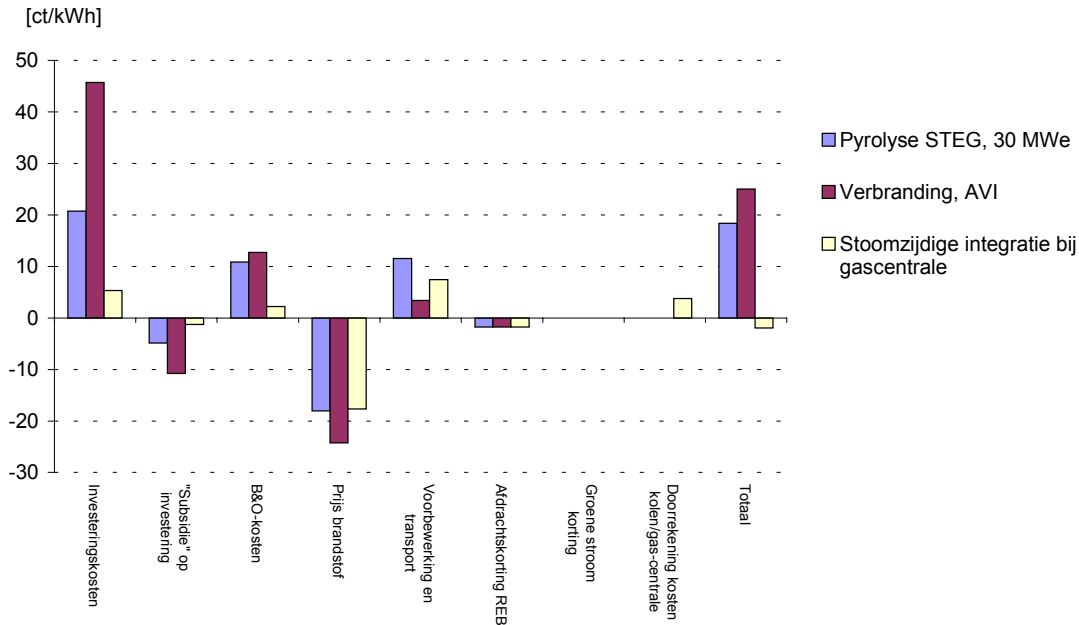
Figuur 5.1 *Decompositie kWh-kosten stro (granen)*

- Schoon resthout. Dit is ook een grote stroom (14 PJ in 2020), maar met een negatieve prijs (-2 gld/GJ). De CFB-vergasser wordt nog niet rendabel als gevolg van de hoge investeringskosten, maar de beide andere varianten wel. De 'opbrengsten' uit fiscale stimulansen (EIA/Vamil/afdrachtskorting REB en nihiltaarf groene stroom) en de negatieve brandstofprijs zijn gezamenlijk zo'n 15 ct/kWh 'waard'.



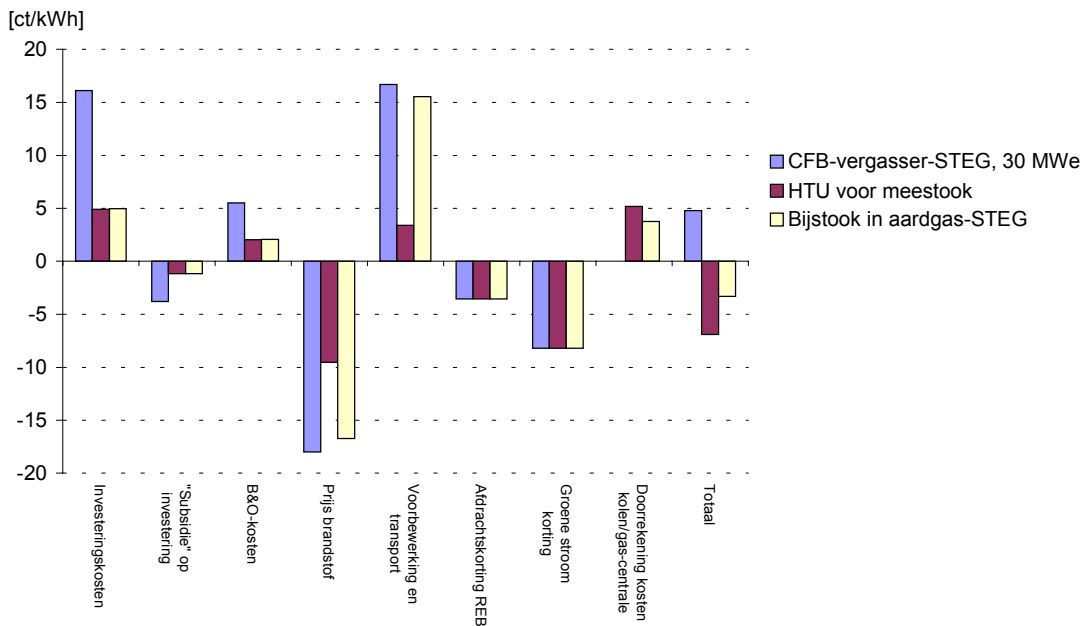
Figuur 5.2 *Decompositie kWh-kosten schoon resthout*

- Restfractie KWD. De investeringskosten voor stoomzijdige integratie zijn relatief zo gering, dat deze optie er erg goed uitkomt. De negatieve brandstofprijs draagt daar sterk toe bij. Ook de pyrolyse-STEg leidt tot lagere kWh-kosten dan de AVI. Bij de hoge kosten van de AVI moet bedacht worden dat aangenomen is dat de investeringskosten 20% gaan stijgen tussen nu en 2020.



Figuur 5.3 *Decompositie kWh-kosten restfractie KWD-afval*

- Gescheiden ingezameld GFT. Deze stroom kan in de periode 2015-2020 in vele technologieën rendabel verwerkt worden, ondanks de hoge voorberekings- en transportkosten. Met name HTU-bijstook leidt tot lage kWh-kosten.



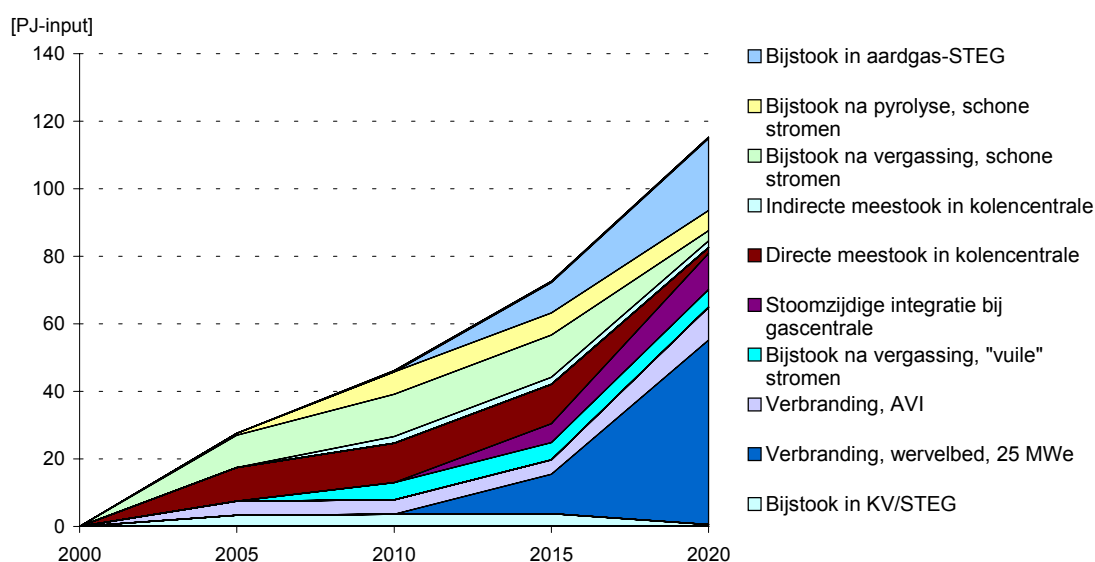
Figuur 5.4 *Decompositie kWh-kosten gescheiden ingezameld GFT*

Het is niet onwaarschijnlijk dat in de toekomst er concurrentie zal ontstaan tussen de verschillende duurzame opties (zie ook Paragraaf 4.3). Het is daarom zinvol om de bovenstaande kWh-

prijzen te vergelijken met andere duurzame opties. Zoals bedoeld in Paragraaf 4.3 is vooral de vergelijking met offshore wind relevant. Vergelijking met kostenschattingen van offshore-wind uit de literatuur is vaak lastig, omdat meestal met andere veronderstellingen is gewerkt ten aanzien van rentevoeten en afschrijvingstermijnen. Om vergelijkbaarheid te bereiken zijn de kostencijfers uit (de Noord, 1999) herberekend met de hier gebruikte afschrijfduur van 15 jaar en rente van 11,6%. De kosten van offshore wind komen dan, zonder enige stimulering, op 18,6 ct/kWh. Inclusief alle veronderstelde fiscale stimulansen (EIA, Vamil, afdrachtskorting REB en een groene stroomvergoeding van 8,2 ct/kWh) wordt de prijs 2,5 ct/kWh. In z'n algemeenheid kan gesteld worden dat de bij- en meestookopties tot een lagere kWh-prijs leiden. Stand-alone opties, met name voor stromen met een positieven prijs, kennen in het algemeen een hogere kWh-prijs dan offshore wind.

5.4 Bepaling marsroute

Het vaststellen van een marsroute betekent in principe het kiezen van 'beste' technologie gekozen volgens de zojuist toegelichte aanpak. In het bedrijfseconomische perspectief wordt per stroom de technologie met de hoogste score gekozen. Dat is echter niet altijd mogelijk. In de beschrijving hieronder wordt aangegeven waarom wordt afgeweken van de methodiek.

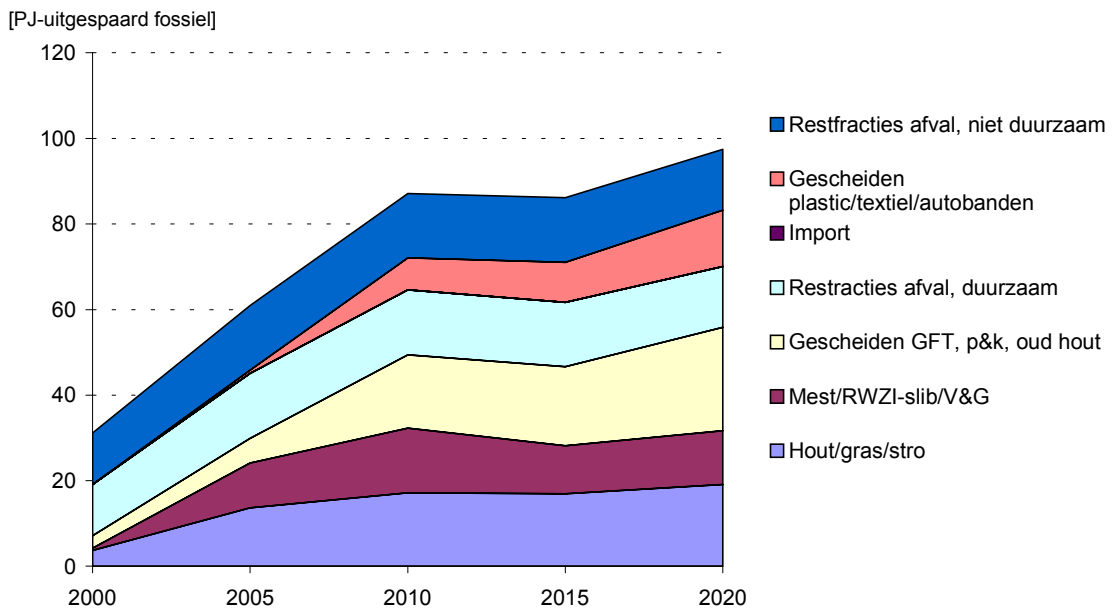


Figuur 5.5 *Technologiekeuze basispad, bedrijfseconomisch perspectief*
(n.b. exclusief reeds bestaande plannen en initiatieven)

Figuur 5.5 geeft aan welke technologieën er per periode gekozen worden in de marsroute. N.B. de technologiekeuze van bestaande plannen en initiatieven is niet in deze figuur opgenomen.

De keuzes die per periode gemaakt worden staan beschreven in onderstaande tekstbox.

<p>Eerste en tweede periode (2000-2010)</p>	<p>In de eerste periode wordt vooral bijstook na vergassing van schone stromen toegepast, in de bestaande kolencentrales (incl. de KV/STEG). Overigens zijn de beschikbare schone biomassastromen en gescheiden ingezamelde afvalstromen nog klein van omvang. Daarnaast wordt ook directe meestook van pluimveemest ingezet, indirecte meestook van miscanthus/hooi van graszaden en oud en gebruikt hout, en bijstook na pyrolyse van gebruikte autobanden. RWZI-slib wordt ingezet via stoomzijdige integratie in kolencentrales. De bijstookfactor van de kolencentrales komt daarmee uiteindelijk op ruim 20%. Dwz, meer dan de 20% die voortvloeit uit de gemaakte afspraken met de kolencentrales, maar minder dan het gehanteerde maximum van 30%.</p> <p>Het bouw- en sloopafval en industrieel wordt ingezet (zie ook Paragraaf 4.3) in AVI's, zij het slechts voor ongeveer de helft van de beschikbare stroom. Deze stromen dalen namelijk fors in de loop van de tijd.</p>
<p>Derde en vierde periode (2010-2020)</p>	<p>In de derde en vierde periode zijn er forse hoeveelheden beschikbaar van een paar rendabel in te zetten houtstromen. Dat komt deels doordat er van sommige stromen meer beschikbaar komt, maar ook omdat de oude kolencentrales dicht gaan. De 'beschikbaarheid' van kolencentrales wordt nu de grote bottleneck. De kolencentrales lopen nu snel tegen de maximale bijstook van 30% aan, na de projecten uit de vorige periode. Er zouden nu heel veel stromen onbenut blijven als de keuzes gebaseerd blijven op de restrictie dat alleen combinaties met een NCW van minimaal 40% van de beste score meedoen. Daar wordt nu van afgeweken. Alle combinaties met een positieve NCW worden in de beschouwing meegenomen. Voor zowel de houtstromen (bosbouw, schoon resthout) als de gescheiden ingezamelde afvalstromen doet na de bij/meestookopties bij kolencentrales, bijstook bij aardgas-STEG's en stoomzijdige integratie in gascentrales het goed. Daarop wordt in deze periode massaal ingezet. Indien overal waar dat rendabel is bijstook in een gascentrale zou worden ingezet, zou dit leiden tot bijstook in alle, volgens de aannamen in Paragraaf 4.3, 'beschikbare' gascentrales, in 2020. Dat zou betekenen dat ook bijstook plaatsvindt in de minder geschikte gascentrales of in kleinere centrales waar bijstook duurder zou zijn. Daarom wordt voor een aantal houtstromen 'uitgeweken' naar wervelbedverbranding, ondanks een lagere NCW. De bijstook bij gascentrales blijft daarmee 'beperkt' tot ongeveer 55% van alle gascentrales. (N.B. aangenomen is: maximaal 10% bijstook in gascentrales). Om dezelfde reden wordt voor de restfracties KWD en huishoudelijk afval, die 'vrijvallen' omdat is aangenomen dat de bestaande AVI's van vóór 2020 uit bedrijf gaan, gekozen voor (stand-alone) wervelbedverbranding en niet voor stoomzijdige integratie bij gascentrales, dat een iets hogere NCW heeft. Zoals aangegeven in Paragraaf 4.3, is de 'ruimte' voor stoomzijdige integratie gering omdat er vrij weinig nieuwe aardgascentrales gebouwd worden.</p>



Figuur 5.6 *Besparing op fossiele brandstoffen in het basispad, bedrijfseconomisch perspectief (n.b. inclusief de besparing als gevolg van nu reeds bestaande of geplande energieopwekking uit afval en biomassa)*

Figuur 5.6 geeft de *totale* besparing op fossiele brandstoffen weer, dus inclusief de besparing die het gevolg is van reeds in 2000 bestaande energie-opwekking plus de meegenomen plannen en initiatieven volgens Bijlage D. Figuur 5.6 geeft dus de som weer van de zojuist beschreven marsroute en de al bestaande en geplande besparing volgens Figuur 4.1. Het aandeel dat als duurzame energie mag worden gerekend is eenvoudig uit de tabel af te lezen: alleen de bovenste twee categorieën mogen niet als duurzaam gerekend worden.

De totale omvang aan uitgespaarde fossiele brandstoffen in 2020 bedraagt 97 PJ. De doelstellingen (zie Hoofdstuk 2) worden niet gehaald. D.w.z. voor afval ruimschoots wel, maar voor duurzaam niet.

Een beoordeling van dit 'resultaat' (97 PJ uitgespaard) komt in een goed perspectief te staan door te kijken naar de biomassa- en afvalstromen die (in 2020) *niet* benut worden voor energie-opwekking. Dat zijn in feite maar drie stromen met een significante omvang, waarvoor geen technologie met een $NCW > 0$ voorhanden is:

- Stro (granen)/koolzaadstro/hennep: ruim 20 PJ.
- V&G/Swill: idem dito: ruim 4,5 PJ.
- Varkens- en rundermest. Deze stroom daalt van ongeveer 20 PJ nu tot 0 in 2020,. Zie Paragraaf 5.1 voor een verhandeling over deze stroom.

Ook de stroom korte omloop hout wordt niet ingezet, maar is vrij klein van omvang (2 PJ in 2020).

De omvang van uitgespaarde fossiele brandstoffen zou ook groter kunnen zijn door toepassing van technologieën met een hoger elektrisch rendement. Dat komt aan de orde in Hoofdstuk 6.

5.5 Gevoeligheidsanalyses

5.5.1 Inleiding

In Paragraaf 4.3 zijn de uitgangspunten opgesomd die hebben geleid tot het basispad. Van deze aannames kan door middel van een gevoeligheidsanalyse worden bepaald in hoeverre de resultaten beïnvloed worden. De parameters die meegenomen zijn in de gevoeligheidsanalyse alsmede de variatie waarmee is gerekend staan vermeld in Tabel 5.2.

Tabel 5.2 *Gehanteerde variaties in de gevoeligheidsanalyses*

– Investerings	+/-25%
– biomassa/afval prijs	marge uit taak 1
– energie prijs	marge uit par. 4.3
– rendement	+/- 20%
– B&O kosten	-50% of +100%
– Voorbewerking	-50% of +100%
– Groene stroom vergoeding	+/-50%
– Disconteringsvoet	+/-25%
– Bedrijfstijd stand-alone installaties	+/-20%

Voor biomassaprijzen en energieprijzen zijn de marges uit respectievelijk taak 1 en Paragraaf 4.3 gehanteerd. Ten aanzien van investeringen, rendementen, B&O-kosten en voorbewerking zijn marges gehanteerd die een grove indicatie vormen van de onzekerheid in deze getallen. Onzekerheden bij de invoerdata lijken het hoogst bij de B&O kosten en de voorbewerking. Daarom zijn deze procentueel het sterkst gevarieerd.

Bij de gevoeligheidsanalyses moet onderscheid gemaakt worden tussen twee soorten aannames:

1. Aannames die alle technologieën in ongeveer dezelfde mate beïnvloeden: prijzen van fossiele energie, biomassa- en afvalprijzen en de hoogte van de Groene Stroom vergoeding, disconteringsvoet, bedrijfstijd.
2. Aannames die technologie-specifiek zijn: investerings- en B&O-kosten, rendementen en voorbewerkingskosten.

De eerste categorie beïnvloedt de keuze van een technologie (bij een gegeven afval- of biomassastroom) hoogstens in beperkte mate, omdat de betreffende aannames op elke technologie een soortgelijke invloed hebben. De gevoeligheid voor deze aannames wordt voor een aantal combinaties met een karakteristieke waarde van de NCW/Inv (tussen, -0,5 en 0, tussen 0 en 1, tussen 1 en 2, groter dan 2). Het gaat dan vooral om de vraag of het teken van de NCW/Inv kan omklappen (van positief negatief worden of vice versa). De resultaten van deze gevoeligheidsanalyses staan in Paragraaf 5.5.2.

Bij de tweede categorie gaat het juist wel om aannames die de technologiekeuze beïnvloeden. Voor deze aannames worden verschillende technologieën in één figuur naast elkaar gezet, zodat beoordeeld kan worden of de volgorde van aantrekkelijkheid van technologieën kan veranderen. De resultaten van deze analyse staat in Paragraaf 5.5.3.

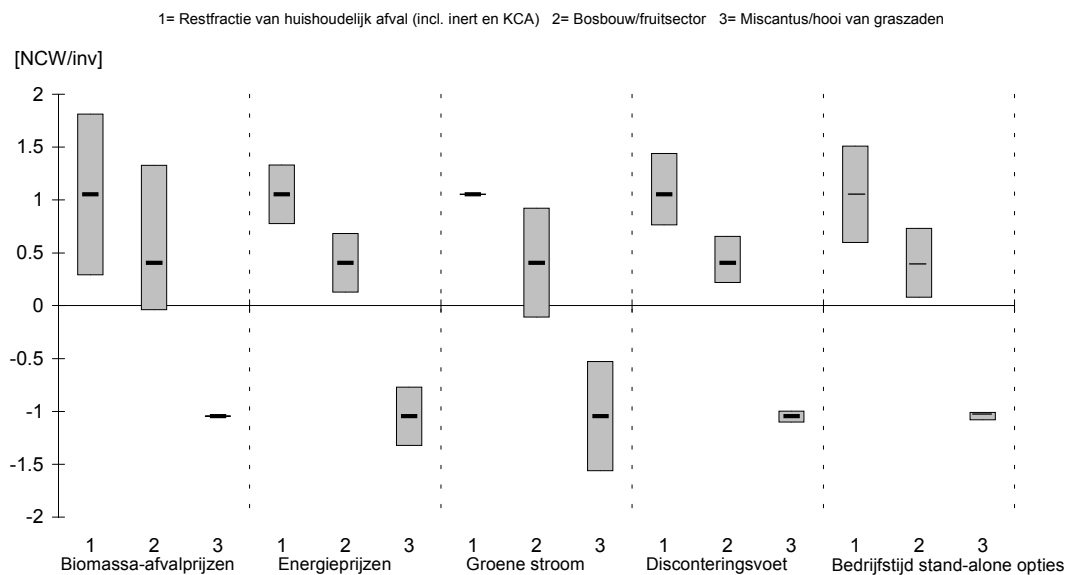
Speciale aandacht vraagt de Groene Stroom vergoeding. Het al dan niet in aanmerking komen voor die vergoeding heeft grote invloed op de rentabiliteit (n.b. er is uitgegaan van een Groene Stroom vergoeding van 8 ct/kWh, meer dan twee maal zo hoog als de afdrachtskorting REB). Gevoeligheidsanalyses waarbij bepaalde stromen en/of technologieën uitgesloten worden van de Groene Stroom vergoeding staan in Paragraaf 5.5.4.

In de gevoeligheidsanalyses is uitgegaan van de berekende Netto Contante Waardes voor de periode 2015-2020. In de figuren geeft het vette streepje de waarde van de NCW/inv in de basis-

berekeningen aan, het grijze vlak die spreiding die ontstaat als gevolg van de variaties in de parameters zoals aangegeven in Tabel 5.2.

5.5.2 Aannames die de hoogte van de NCW/inv voor alle technologieën beïnvloeden

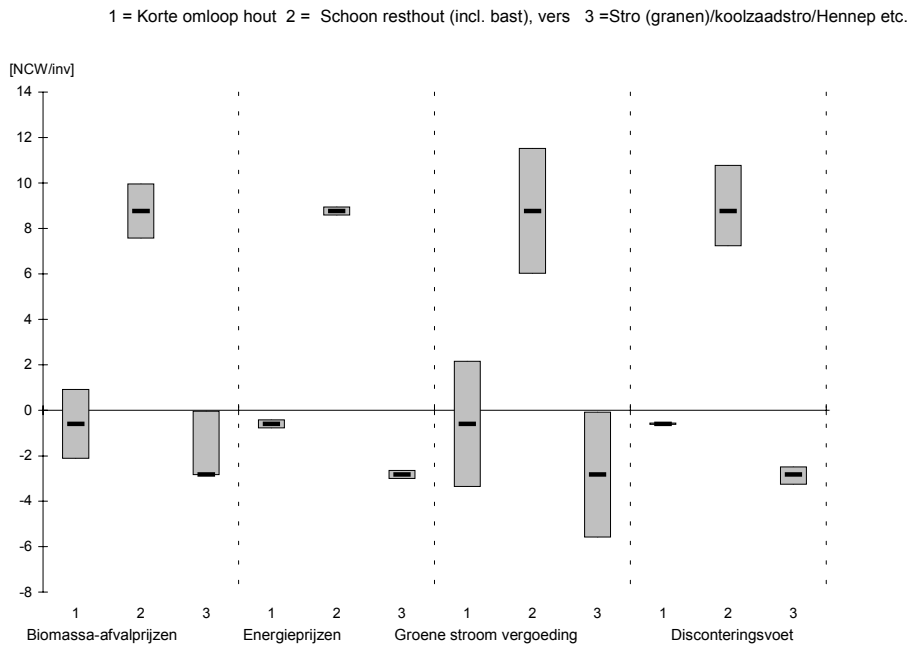
Het gaat er hierbij vooral om of de Netto Contante Waarde van teken gaat veranderen als gevolg van variatie in de parameters. In Figuur 5.7 wordt als voorbeeld genomen: wervelbedverbranding van drie verschillende stromen, waarbij de NCW/inv in de basis-berekeningen resp. 1,1;0,4 en -1,0 is.



Figuur 5.7 Gevoeligheidsanalyse wervelbedverbranding

De verbranding van het huishoudelijk afval, met een NCW/inv van ruim 1 in de basisberekeningen is 'robust': in alle gevallen blijft de NCW positief. De verbranding van bermgras is in alle gevallen niet rendabel. Bij de derde stroom (bosbouw/fruitsector) blijkt de grote invloed van de groene stroom vergoeding en de prijzen van de biomassa.

In Figuur 5.8 is de situatie weergegeven voor bijstook-vergassing van schone stromen in een kolencentrale. Zoals in de Paragrafen 5.1 en 5.2 is gebleken, is dat voor veel stromen een zeer rendabele technologie.



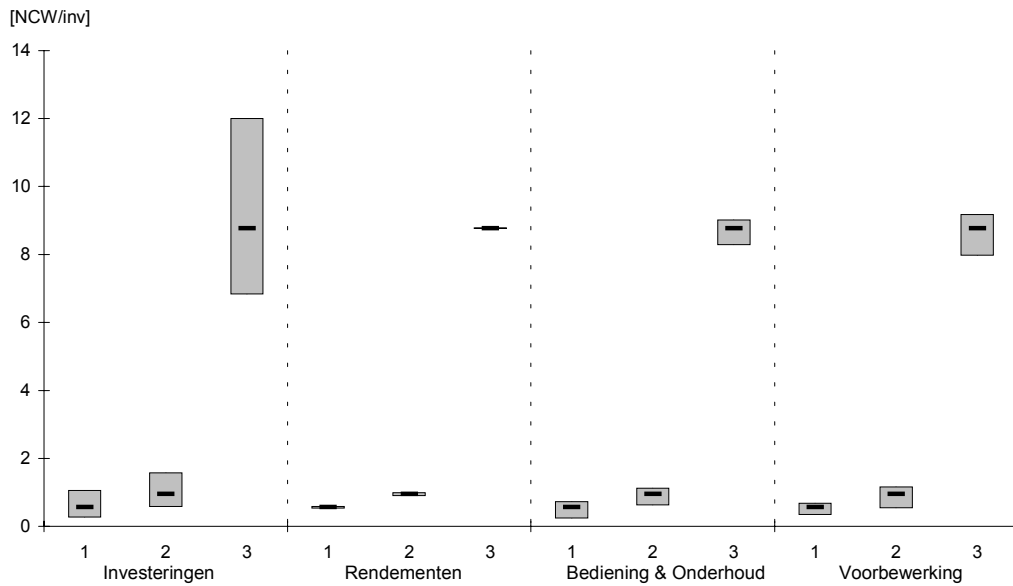
Figuur 5.8 Gevoeligheidsanalyse bijstook-vergassing

Duidelijk is dat de optie voor schoon resthout zeer ‘robust’ is voor veranderingen in de aannames. In de figuur zijn verder twee stromen opgenomen die in de marsroutes geen of amper een rol spelen omdat de prijs van de biomassa relatief hoog is. Ook hier blijkt weer de grote invloed van de groene stroom vergoeding en de biomassaprijzen. De disconteringsvoet en de fossiele energieprijzen zijn van veel minder invloed. Beide stromen zouden rendabel kunnen worden bij een hogere groene stroom vergoeding en/of gunstiger biomassa-prijzen.

5.5.3 Aannames die de technologiekeuze beïnvloeden

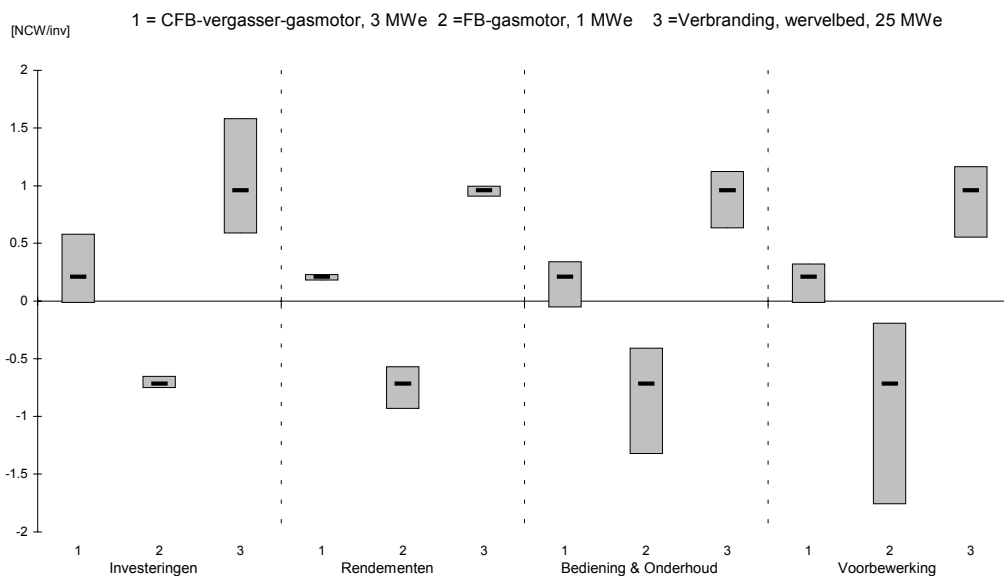
Om te illustreren of de volgorde van aantrekkelijkheid van technologieën verandert als gevolg van de veranderingen in kentallen, worden drie figuren gepresenteerd, voor resp. een schone biomassastroom, een gescheiden ingezamelde afvalstroom en een restfractie afval. In Figuur 5.9 worden een aantal technologieën vergeleken voor de verwerking van schoon resthout.

1= CFB-vergasser-STEG, 150 MWe 2=Verbranding, wervelbed, 25 MWe 3=Bijstook na vergassing, schone stromen



Figuur 5.9 Gevoeligheidsanalyse technologiekeuze schoon resthout, deel 1

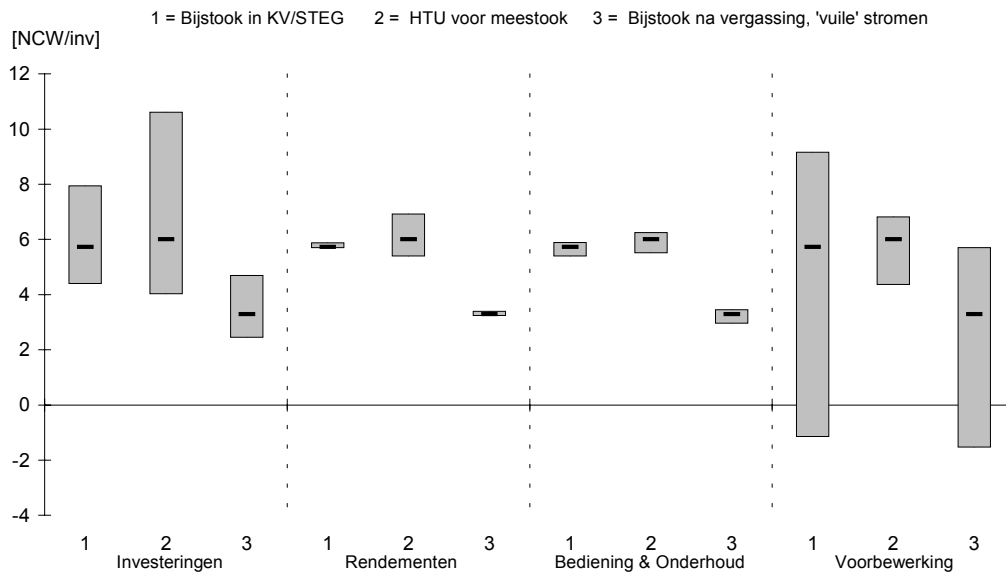
De keuze voor bijstook na vergassing blijkt zeer robuust. Zelfs als bijv. de investeringen bij bijstook ‘tegevallen’ en bij de andere technologieën ‘meevallen’, blijft bijstook een hogere rentabiliteit houden. Voor de overige parameters geldt hetzelfde. De twee andere technologieën, wervelbedverbranding en de 150 MWe CFB-vergasser kunnen, op grond van Figuur 5.9, als vrijwel gelijkwaardig beschouwd worden: de volgorde in aantrekkelijkheid kan gemakkelijk omdraaien. In de vorige paragrafen is aangegeven dat de kleinschalige opties niet in het stuk voorkomen. Om na te gaan hoe robuust die conclusie is, zijn twee kleinschalige opties vergeleken met wervelbedverbranding, in Figuur 5.10.



Figuur 5.10 Gevoeligheidsanalyse technologiekeuze schoon resthout, deel 2

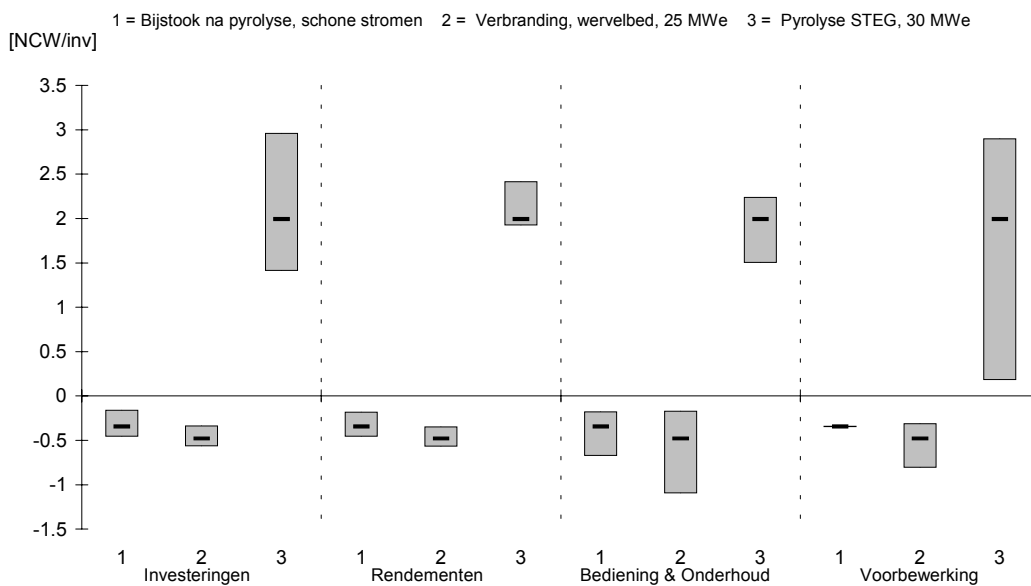
Ook als de kentallen van de kleinschalige opties gunstig uitvallen en van wervelbedverbranding ongunstig, heeft wervelbedverbranding meestal nog een hogere rentabiliteit.

In Figuur 5.11 is de vergelijking van een aantal bijstookopties voor gescheiden ingezameld GFT weergegeven.



Figuur 5.11 *Gevoeligheidsanalyse technologiekeuze gescheiden ingezameld GFT*

De effecten van de hoogte van de investeringen en de voorbewerkingskosten op de NCW zijn dermate groot, dat de volgorde van aantrekkelijkheid hierdoor gemakkelijk kan veranderen.



Figuur 5.12 *Gevoeligheidsanalyse technologiekeuze huishoudelijk afval*

In Figuur 5.12 is een gelijksoortige vergelijking gemaakt voor huishoudelijk afval. Hier is de stoomzijdige integratie als optie erg robuust. Overigens scoort directe meestook van brandstof uit afval in de basisberekeningen veruit het beste ($NCW/inv > 60$). Die combinatie is echter uitermate gevoelig voor de hoogte van de voorbewerkingskosten. Twee keer zo hoge voorbewerkingskosten betekent zelfs dat de NCW negatief wordt.

Negatieve prijzen

Veel stromen hebben een negatieve prijs. Deze prijzen zijn in de praktijk afhankelijk van de marktsituatie. De waarde is afhankelijk van de kosten van verwerking, dus van de technologie.

In geval er dus een positieve NCW bereikt wordt bij een proces met een afvalstroom met negatieve waarde als input, zal dit in de praktijk leiden tot een hogere (minder negatieve) prijs voor de afvalstroom en maar beperkt tot winst. Om deze reden moet een positieve NCW/inv uit afvalverwerking met voorzichtigheid geïnterpreteerd worden. Daarom is een korte analyse uitgevoerd van afvalverwerking in geval alle afvalprijzen op 0 worden gezet (voor gemengde afvalstromen).

In dat geval blijkt geen enkele van de meegenomen afval/technologie-combinaties een positieve NCW op te leveren.

5.5.4 Invloed Groene Stroom vergoeding

In Paragraaf 4.3 is aangenomen dat alle stromen die in aanmerking komen voor teruggave van REB, ook in aanmerking komen voor een groene stroom vergoeding, ongeacht de ingezette technologie. Zolang Groene Stroom zijn waarde ontleent aan de vrije wil van burgers om extra te betalen voor bepaalde vormen van energie, is het niet ondenkbaar dat er differentiatie zal ontstaan (de ene 'groene' kWh is de andere niet). Het gaat daarbij zowel om de input, als om de conversie van biomassa. Zo is het denkbaar dat er geen of weinig klanten gevonden kunnen worden die extra willen betalen voor elektriciteit uit kolencentrales of elektriciteit op basis van mest.

In de berekeningen tot dusverre komen de volgende 13 stromen in aanmerking voor een groene stroom vergoeding (zie Tabel 4.7):

Tabel 5.3 Stromen waarvoor een groene stroom vergoeding is verondersteld

Korte omloop hout
Bosbouw/fruitsector
Schoon resthout (incl. bast), vers
Miscantus/hooi van graszaden
Bermgras
Stro (granen)/koolzaadstro/Hennep etc.
Pluimveemest
Rundermest, kalvermest en varkensmest
RWZI slib
V&G/Swill
Gescheiden ingezameld GFT
Gescheiden ingezameld oud papier en karton
Gescheiden ingezameld oud en bewerkt hout

Gezien de prominente rol van bij/meestookoptie in kolencentrales in dit hoofdstuk, is de vraag interessant hoe de verhoudingen zich wijzigen als deze opties niet in aanmerking komen voor een groene stroom vergoeding.

Van de 13 stromen in Tabel 5.3 kunnen er 3 in de basisberekeningen in geen enkele technologie rendabel ingezet worden: korte omloop hout, rundermest en stro (granen). Voor de overige 10 geldt dat de meest rendabele optie een bij/meestookvariant in een kolencentrale is.

Zonder een GS-vergoeding voor bij/meestook in kolencentrales blijft voor schoon resthout en bermgras een bijstookvariant in kolencentrales het meest aantrekkelijk (resp. bijstook na vergassing en indirecte meestook). Voor de overige 8 stromen wordt nu bijstook of stoom-zijdige integratie in een aardgascentrale de meest aantrekkelijke technologie. De voorsprong die deze technologieën hebben op de stand-alone opties (m.n. wervelbedverbranding) is (vanzelfsprekend) veel kleiner dan de voorsprong die de kolenopties in de oorspronkelijke berekeningen.

Ook is denkbaar dat de GS-vergoeding alleen geldt voor de 'echt' schone houtstromen, d.w.z. de eerste 6 stromen in Tabel 5.3 Van de overige 7 stromen hadden rundermest en V&G/Will al geen economisch rendabele toepassing. Het wegvallen van de GS-vergoeding heeft dus slechts effect op 5 stromen:

- Voor pluimveemest vervallen zonder GS-vergoeding bijna alle rendabele verwerkings-opties. In de berekeningen heeft alleen stoomzijdige integratie nog net een positieve NCW.
- RWZI-slib kan nog steeds rendabel toegepast worden (dankzij de sterk negatieve prijs per GJ).
- Gescheiden ingezameld GFT en oud papier en karton houden een duidelijk positieve NCW in een aantal bij/meestookopties
- Gescheiden ingezameld oud en bewerkt hout kan zonder GS-vergoeding nog maar net rendabel ingezet worden (indirecte meestook of bijstook in KV/STEG).

Concluderend kan gesteld worden dat alleen voor pluimveemest en gescheiden ingezameld oud en bewerkt hout het wegvallen van de GS-vergoeding mogelijk tot effect heeft dat rendabele inzet voor energieopwekking niet meer mogelijk is.

6. HET BASISPAD VOLGENS HET OVERHEIDSPERSPECTIEF

6.1 Besparing of fossiele brandstoffen per technologie

Voor het overheids perspectief is in de eerste plaats van belang hoeveel fossiele energie bespaard wordt door de inzet van biomassa of afval. In onderstaande tabel is per technologie weergegeven hoeveel fossiele energie wordt uitgespaard per PJ biomassa/afval en per periode. De berekeningswijze is echter niet voor alle technologieën hetzelfde. Bij de stand-alone elektriciteitsproductie wordt de uitgespaarde fossiele energie berekend op basis van het gemiddelde elektrisch rendement van het Nederlandse park (conform het protocol Monitoring Duurzame Energie). Bij de mee- en bijstookopties worden de uitgespaarde PJ's van de desbetreffende centrale gehanteerd (zie ook Paragraaf 4.3).

Tabel 6.1 *Besparing op fossiele brandstof per 1 PJ biomassa of afval, 2015-2020*

	Productie ¹	Berekening uitgespaard fossiel	Rendement	Rangorde
CFB-vergasser-gasmotor, 3 MW _e	w+e	Parkrendementen	0,77	14
CFB-vergasser-STEG, 30 MW _e	w+e	Parkrendementen	0,83	10
CFB-vergasser-STEG, 150 MW _e	w+e	Parkrendementen	0,90	6
Bijstook in KV/STEG	e	uitgespaarde kolen	0,95	3
BFB-turbine, 10 MW _e	w+e	Parkrendementen	0,72	17
FB-gasmotor, 1 MW _e	w+e	Parkrendementen	0,62	19
Verbranding, wervelbed, 25 MW _e	e	Parkrendementen	0,60	20
Verbranding, AVI	e	Parkrendementen	0,56	21
Flash pyrolyse voor meestook	e	uitgespaarde kolen	0,75	16
Pyrolyse gasmotor-stoomturbine, 8 MW _e	w+e	Parkrendementen	0,78	13
Pyrolyse STEG, 30 MW _e	e	Parkrendementen	0,76	15
Bijstook na vergassing, 'vuile' stromen	e	uitgespaarde kolen	0,88	7
Stoomzijdige integratie bij gascentrale	e	uitgespaard aardgas	0,70	18
Directe meestook in kolencentrale	e	uitgespaarde kolen	0,99	1
HTU voor meestook	e	uitgespaarde kolen	0,78	12
Natte vergisting ²	w+e	Parkrendementen	0,13	23
Droge vergisting ²	w	Parkrendementen	0,48	22
Indirecte meestook in kolencentrale	e	uitgespaarde kolen	0,95	3
Bijstook na vergassing, schone stromen	e	uitgespaarde kolen	0,95	3
Bijstook na pyrolyse, schone stromen	e	uitgespaarde kolen	0,88	7
Bijstook in aardgas-STEG	e	uitgespaard aardgas	0,81	11
Stoomzijdige integratie bij kolencentrale	e	Parkrendementen	0,96	2
Kleinschalige verbranding, 1MW _{th}	w	Parkrendementen	0,86	9
Wervelbedverbranding, wkk	w+e	Parkrendementen	0,84	
CFB-vergasser 30 MW, wkk	w+e	Parkrendementen	1,15	

¹ In deze kolom wordt aangegeven wat het uiteindelijke product is: e staat voor elektriciteit, w+e voor warmte en elektriciteit (dus wkk), w voor alleen warmte of groen gas.

² Van vergistingsinstallaties is bekend hoeveel gas er wordt geproduceerd voor verschillende soorten input. Bij vergisting is er, anders dan bij de andere technologieën geen direct verband tussen de verbrandingswaarde van de input en de output aan energie. Toch wordt het potentieel van de input uitgedrukt in de verbrandingswaarde. Om dan vervolgens een rendement mee te kunnen nemen in de berekeningen is gekozen om de energie-inhoud van het geproduceerde gas te berekenen als percentage van de verbrandingswaarde van de input (dus output/input). Op deze manier komt droge vergisting uitgaande van de gegevens uit taak 1 en 2 uit op een rendement van 48% voor V&G/Swill en GFT. Dit rendement is ook gebruikt voor de andere stromen. Aangezien voor natte vergisting de verbrandingswaarde van de input negatief is gaat deze berekenwijze daar niet op. Om toch met de conversie van natte mest te rekenen is er voor de marsroutes uitgegaan van de verbrandingswaarde van de droge fractie en die is 15 GJ/ton droge mest; dat is 1,2 GJ per ton *natte* mest (zo uitgedrukt omdat de beschikbaarheid van mest in tonnen nat wordt gegeven). Uitgaande van deze energie-inhoud komt natte vergisting, dat alleen wordt ingezet voor rundermest, kalvermest en varkensmest uit op een rendement van 6%.

Een aantal bij- en meestookopties bij kolencentrales besparen het meest, gevolgd door de CFB-vergasser-STEG en kleinschalige verbranding. De rangorde, die in de tabel is weergegeven voor de laatste periode, verandert nauwelijks in de loop van de tijd. In de laatste twee regels is ter il-

lustratie aangegeven hoe de beide opties van 25-30 MW_e ‘scoren’ als ze uitgevoerd zouden worden als wkk-eenheid (100% wkk-bedrijf). Deze beide opties bereiken een duidelijk hogere besparing op fossiele brandstoffen dan de kleinschaliger gasmotor-wkk combinaties. De kleinschalige wkk-opties ‘verliezen’ het in bovenstaande tabel omdat hun elektrisch rendement veel lager is dan het gemiddeld parkrendement. Dit wordt niet goedge maakt door de warmtelevering, temeer daar het referentierendement voor warmte (met aardgas) al erg hoog is. Alleen als opties met een vrij hoog elektrisch rendement, zoals de CFB-vergasser van 30 MW_e, uitgevoerd kunnen worden als wkk-eenheid, levert wkk substantieel meer besparing op dan de pure elektriciteitsproducerende opties.

In deze tabel wordt alleen rekening gehouden met de rendementen van de installaties. Daarbij is dus geen rekening gehouden met het energiegebruik voor voorbereiding en transport. Dit energiegebruik is bij een aantal combinaties behoorlijk groot (zie Paragraaf 3.2). Dat is voor de vergelijking van technologieën per stroom van belang als bij inzet van die stroom het energiegebruik van voorbereiding en transport sterk uiteenloopt voor de verschillende technologieën. Dat is eigenlijk alleen het geval bij de verwerking van de restfracties afval: bij directe meestook is het energieverbruik van voorbereiding 11% van de energie-inhoud, bij wervelbedverbranding (en stoomzijdige integratie) 4%, bij de pyrolyse-opties 2% en bij AVI's 1% (n.b. bij directe meestook en wervelbedverbranding wordt er brandstof gemaakt uit de restfracties van huishoudelijk en KWD-afval).

In Tabel 6.2 zijn voor de restfracties van huishoudelijk en kwd-afval de besparing op fossiel vergeleken voor de relevante technologische opties, rekening houdend met het energiegebruik van transport en voorbereiding.

Tabel 6.2 *Vergelijking besparing of fossiel per PJ HHA of KWD afval, rekening houdend met het energiegebruik van voorbereiding en transport*

	2000-2005	2005-2010	2010-2015	2015-2020
Meestook	0,88	0,88	0,88	0,88
Wervelbedverbranding	0,60	0,59	0,59	0,58
Stoomzijdige integratie kolencentrale	0,92	0,92	0,92	0,92
Stoomzijdige integratie gascentrale	0,67	0,67	0,67	0,67
AVI	0,46	0,49	0,53	0,56
Pyrolyse STEG, 25 MW _e	0,74	0,71	0,73	0,74
Pyrolyse gasmotor-stoomturbine, 8 MW _e	0,75	0,76	0,77	0,77

De kolencentrale-opties laten de hoogste besparing zien. Echter, in de gekozen methodiek zijn keuzes voor nieuwe afvalverwerkingstechnologie pas over 15 jaar aan de orde, als bestaande AVI's zijn afgeschreven. Aannemende dat er geen nieuwe kolencentrales komen, vallen de twee beste opties uit Tabel 6.2 af. Van de overige alternatieven voor de AVI's, verliest wervelbedverbranding in de loop van de tijd zijn voordeel als gevolg van stijgende rendementen van de AVI's. De drie overige alternatieven, de pyrolyse-opties en stoomzijdige integratie in een gascentrale geven een significant hogere besparing op fossiel. De pyrolyse-gasmotor combinatie haalt zijn hoge besparing mede door de veronderstelde warmtelevering.

Wel is het zo dat bij de routes waar een brandstof gemaakt wordt uit het afval (meestook, wervelbed, stoomz. Integratie) een fractie overblijft, die wellicht niet benut wordt voor energieopwekking. Bij de gehanteerde gegevens voor het maken van RDF uit KWD-afval, vertegenwoordigt die reststroom nog 15% van de energiehoud van de oorspronkelijke afvalstroom. De rendementen in Tabel 5.3 voor de betreffende routes moeten dan nog eens met 0,85 vermenigvuldigd worden. Dat zou betekenen dat ook stoomzijdige integratie geen voordeel meer biedt t.o.v. de AVI. De pyrolyse-opties blijft dan als enige besparingsopties over. Echter, deze opties hebben voor huishoudelijk en kwd-afval een terugverdientijd die net wel of net niet korter is dan 15 jaar. Op dat punt scoren wervelbedverbranding en stoomzijdige integratie juist weer veel beter.

Verder is het de vraag of de schaal van de pyrolyse-gasmotor (8MW_e) een realistische schaal is. In de marsroute (6.3) wordt deze optie alleen voor industrieel en bouw-en sloopafval ingezet.

6.2 Kosten per ton vermeden CO₂

De beoordeling van energieconversiesystemen wordt niet alleen gebaseerd op economische rentabiliteit en uitgespaarde fossiele brandstoffen. Vanuit het oogpunt van klimaatbeleid is ook van belang wat de kosten zijn per vermeden ton CO₂. De relatie tussen afvalbeleid en klimaatbeleid is zeer complex en gaat de reikwijdte van deze studie ver te boven (zie ook Hoofdstuk 1). De afwegingen (storten, hergebruik, energieopwekking) liggen op een niveau hoger dan in deze studie. Als het gaat om de inzet van biomassa geldt eveneens dat de afwegingen de systeemgrenzen van deze studie te buiten gaan (bijvoorbeeld cascadering). Het is wel zinvol om de kosten per vermeden ton CO₂ te vergelijken met andere routes voor energieopwekking (bijv. biobrandstoffen).

Bij de berekening van de kosten per vermeden ton CO₂ wordt afgezien van fiscale faciliteiten en wordt gerekend met een rente van 5% en een levensduur van 25 jaar. Omdat de kolencentrales waarin bij- of meegestookt wordt een kortere resterende levensduur hebben, wordt voor die optie gerekend met 15 jaar i.p.v. 25 jaar (hetgeen overigens een zeer beperkt effect heeft). Hiermee worden de zgn. 'maatschappelijke kosten' weergegeven.

Voor een aantal stromen (schoon resthout, bermgras, RWZI-slib en gescheiden ingezameld oud papier, kunststoffen en textiel) zijn de kosten per ton vermeden CO₂ voor minstens 1 technologie negatief. De kosten van enkele stromen (bosbouw/fruitsector, pluimveemest en gescheiden ingezameld oud en bewerkt hout) bedragen enkele tientallen guldens per ton CO₂. De overige stromen (korte omloop hout, stro, rundermest, V&G/swill en miscanthus) hebben kosten van boven de 100 gulden per ton CO₂. Dit zijn de stromen die in de gepresenteerde marsroutes geen rol spelen.

Het vergelijken van deze kosten met kosten van andere opties voor CO₂-reductie uit andere studies is in het algemeen lastig omdat systeemgrenzen, aannames, zichtjaren en berekeningsmethoden (kunnen) verschillen. Met deze kanttekening in het achterhoofd kunnen de volgende vergelijkingen gemaakt worden:

- In Deel 1 van de Uitvoeringsnota Klimaatbeleid (VROM, 1999) wordt een grens gelegd bij 150 gld/ton CO₂ (eindverbruikerskosten). Maatregelen die duurder zijn worden niet in beschouwing genomen. In het basispakket extra maatregelen van 15 Mton reductie in 2010 (excl. de transportsector) variëren de 'nationale kosten' (wat overeenkomt met de hier gehanteerde kostenbenadering) van -53 gld/ton voor energiebesparing in de industrie tot 250 gld/ton voor energiebesparing in de glastuinbouw. De meeste opties kosten rond de 100 gulden per ton of minder. De opties in de marsroutes passen dus goed in die range. In de marsroute waarin de doelstelling voor uitgespaard fossiel wordt gehaald (zie Paragraaf 6.3), speelt grootschalige CFB-vergassing van geïmporteerde biomassa, met kosten van resp. 7,5 en 12 gld/GJ, een grote rol. De kosten per uitgespaarde ton CO₂ voor deze optie bedragen, in 2015-2020, ongeveer 175 gld/ton bij een biomassaprijs van 7,5 gld/GJ en ongeveer 250 gld/ton bij een biomassaprijs van 12 gld/GJ.
- Als het gaat om de inzet van biomassa is het met name relevant om te kijken naar de vergelijking tussen productie van elektriciteit en warmte enerzijds en vloeibare en gasvormige brandstoffen anderzijds. In (ADL, 1999) worden de kosten per uitgespaarde ton CO₂ voor een aantal ketens voor de productie van brandstoffen gepresenteerd. Relevante aannames in dat rapport zijn: prijs voor houtachtige biomassa 4,5 gld/GJ, kolenprijs 3,44 gld/GJ, aardgasprijs 5,22 gld/GJ; investeringen worden omgezet in jaarlijkse kosten door 15% van de totale investering te nemen. Dit komt overeen met een afschrijvingstermijn van 10 jaar en een rente van 8%. Nota bene: dit leidt tot veel hogere kosten dan wanneer met 25 jaar en 5% wordt gerekend. De resultaten voor transportbrandstoffen zijn kort samengevat:

- Ethanol op basis van cellulose geeft de laagste kosten als vervanger voor benzine: 50-120 gld/ton CO₂; andere vervangers van benzine zijn twee tot drie keer zo duur.
- FT-diesel kost ongeveer 330 gld/ton.

Om de opties uit deze studie hiermee te vergelijken, zijn de technologieën uit deze studie doorgerekend voor een fictieve houtachtige biomassaastroom van 4,5 gld/GJ, op basis van dezelfde aannames over afschrijving en prijzen van fossiele brandstoffen als in de ADL-studie. De resultaten zijn, samengevat:

- Bijstook in kolencentrale kost ongeveer 50-100 gld/ton
- Bijstook in gascentrale kost ongeveer 150 gld/ton
- De 150 MW_e CFB-vergasser kost ongeveer 250 gld/ton
- De overige stand-alone opties kosten tussen de 200 en 700 gld/ton.

Concluderend kan gesteld worden dat bij/meestook in termen van kosten per vermeden ton CO₂ goedkoper is dan bijna alle biobrandstof-opties. De CFB-vergasser zit tussen cellulose-ethanol en FT-diesel in.

6.3 Bepaling marsroute

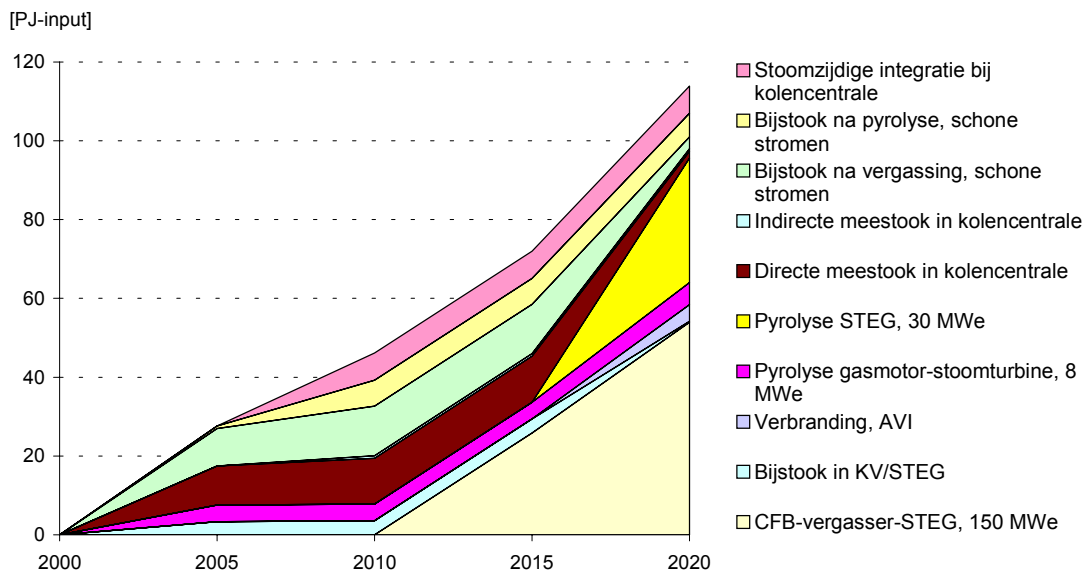
Als criterium voor het invullen van een marsroute in het overheidsperspectief is gekozen: maximale besparing op fossiele brandstoffen per biomassa/afvalstroom, met als randvoorwaarde dat de installaties binnen 15 jaar moeten worden terugverdiend (NCW/investering > -0,5; zie ook Paragraaf 4.1).

Uit Paragraaf 6.1 is gebleken dat in de eerste periodes de bij- en meestookopties die in het bedrijfseconomisch perspectief vaak gekozen worden, ook nu de voorkeur genieten. Echter, op het moment dat de kolencentrales ‘vol’ zijn, wordt in het bedrijfseconomisch perspectief ‘overgeschakeld’ op de gascentrales. Dat is nu niet het geval: CFB-vergassing en kleinschalige verbranding genieten de voorkeur. Kleinschalige verbranding heeft echter voor de meeste stromen een te lange terugverdientijd. De CFB-vergassers gaan daarom een grote rol spelen.

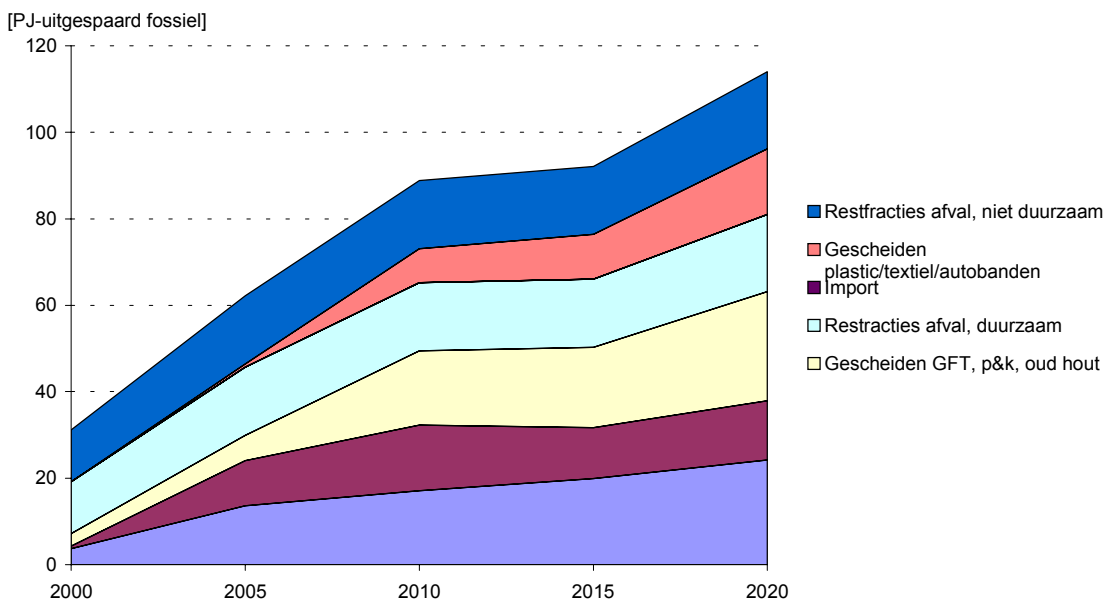
De bij/meestookopties ‘stoomzijdige integratie’, ‘vergassing schone stromen’ en ‘indirecte meestook’ (en voor sommige stromen pyrolyse-bijstook) ontlopen elkaar in Tabel 6.1 erg weinig. Bij de invulling van de marsroutes wordt veelal gekozen voor vergassing-bijstook, omdat deze optie een beter economisch rendement heeft dan de overige twee. De maximale bijstookfactor van 30% bij kolencentrales blijkt bij de invulling van de marsroute net geen beperkende factor te zijn.

Wat betreft de restfracties van huishoudelijk en KWD-afval is volgens Paragraaf 6.1 veel winst te behalen door pyrolyse toe te passen. Dat wordt ingezet in de vierde periode, waarbij nogmaals wordt opgemerkt dat deze optie ‘op de rand’ zit wat betreft de voorwaarde dat de terugverdientijd korter dan 15 jaar moet zijn. In de eerdere periodes is er nog enige ruimte om nieuwe technologie voor industrieel en bouw- en sloopafval in te zetten. Mede omdat van de pyrolyse-STEg verondersteld is dat die nog niet beschikbaar is, wordt hier de pyrolyse-gasmotor ingezet.

Dit leidt tot de volgende resultaten.



Figuur 6.1 *Technologiekeuze basispad, overheidsperspectief*
(n.b. exclusief reeds bestaande plannen en initiatieven)



Figuur 6.2 *Besparing op fossiele brandstoffen in het basispad, overheidsperspectief*
(n.b. inclusief de besparing als gevolg van nu reeds bestaande of geplande energieopwekking uit afval en biomassa)

De besparing op fossiele brandstoffen neemt t.o.v. het bedrijfseconomisch perspectief toe van 97 naar 114 PJ. Dat is vooral het gevolg van de toepassing van nieuwe routes voor afvalverwerking in de vierde periode, en in mindere mate van toepassing van de grote CFB-vergasser. De paar stromen die in het bedrijfseconomisch perspectief niet worden ingezet omdat er geen rendabele technologie voorhanden is, worden ook in het overheidsperspectief niet ingezet. Er is namelijk 'zelfs' geen technologie voorhanden die in vijftien jaar wordt terugverdiend. Het gevolg is dat in het overheidsperspectief ongeveer evenveel biomassa en afval wordt ingezet als in het bedrijfseconomisch perspectief.

Zoals aangegeven in Paragraaf 4.3 is alleen bij de kleinschalige installaties warmte/kracht bedrijf verondersteld. Van deze installaties wordt alleen de pyrolyse-gasmotor beperkt ingezet voor afvalverwerking. Verder is derhalve in bovenstaande figuren geen warmtelevering verwerkt. Warmtelevering zou kunnen leiden tot meer uitgespaarde fossiele brandstoffen. Hierbij moet wel bedacht worden dat er veel bij/meestook plaatsvindt in de marsroute; als bij de betreffende centrales reeds warmtelevering optreedt, wordt dit in de gehanteerde methodiek niet toegerekend aan de biomassa- en afvalinzet. Het effect van inzet van biomassa of afval is immers dat er rechtstreeks kolen of gas wordt uitgespaard. Of de betreffende centrale nu wel of niet warmte levert, doet daarbij niet ter zake. Die warmtelevering is bovendien al ‘ingeboekt’ als energiebesparing. Bij stand-alone installaties zou warmtelevering wel leiden tot meer uitgespaard fossiel. Bij de gehanteerde kentallen (zie Paragraaf 4.3) levert elke MW_{th} warmtelevering bij STEG-installaties een additionele besparing op fossiel van 15 à 20 TJ. In bovenstaande marsroute wordt tussen 2010 en 2020 ongeveer 2000 MW CFB-vergasser-STEG en pyrolyse-STEG ingezet. Als hierbij 1000 MW_{th} geleverd zou kunnen worden, zou dit dus 15 à 20 PJ extra besparing op primair opleveren. Daarmee zou het totaal uitgespaarde fossiele brandstoffen stijgen tot 130 à 135 PJ.

6.4 Invloed berekeningsmethodiek uitgespaarde brandstoffen

In Paragraaf 4.3 is toegelicht welke methodiek gekozen is voor de bepaling van uitgespaarde fossiele brandstoffen. Voor de bij- en meestookopties wordt daarbij niet gerekend met de referentierendementen van het elektriciteitspark in Nederland, maar met de werkelijk uitgespaarde kolen of aardgas. Doordat kolencentrales een lager elektrisch rendement hebben dan het parkgemiddelde, pakt deze berekeningsmethode goed uit voor kolencentrales. Voor aardgascentrales geldt het omgekeerde. De vraag kan gesteld worden hoe de invulling van de marsroute er uit zou zien als voor alle opties gerekend wordt met parkrendementen. In Tabel 6.3 is weergegeven hoe de rangorde van opties voor de laatste periode verandert.

Tabel 6.3 *Rangorde opties voor twee berekeningsmethoden*

	[PJ-fossiel]	Rangorde ‘nieuwe’ berekeningsmethode	Rangorde ‘oude’ berekeningsmethode
CFB-vergasser-STEG, 150 MW _e	0,9	1	6
Bijstook in aardgas-STEG	0,9	2	11
Kleinschalige verbranding, 1MW _{th}	0,86	3	9
CFB-vergasser-STEG, 30 MW _e	0,83	4	10
Directe meestook in kolencentrale	0,8	5	1
Pyrolyse gasmotor-stoomturbine, 8 MW _e	0,78	6	13
Stoomzijdige integratie bij gascentrale	0,78	7	17
Stoomzijdige integratie bij kolencentrale	0,77	8	2
CFB-vergasser-gasmotor, 3 MW _e	0,77	9	14
Indirecte meestook in kolencentrale	0,77	10	3
Bijstook in KV/STEG	0,77	11	3
Bijstook na vergassing, schone stromen	0,77	11	3
Pyrolyse STEG, 30 MW _e	0,76	13	15
BFB-turbine, 10 MW _e	0,72	14	16
Bijstook na vergassing, ‘vuile’ stromen	0,71	15	7
Bijstook na pyrolyse, schone stromen	0,71	15	7
HTU voor meestook	0,63	17	12
FB-gasmotor, 1 MW _e	0,62	18	19
Verbranding, wervelbed, 25 MW _e	0,6	19	20
Flash pyrolyse voor meestook	0,56	20	17
Verbranding, AVI	0,56	21	21
Droge vergisting	0,48	22	22
Natte vergisting	0,13	23	23

Duidelijk is dat de bij- en meestookopties in kolencentrales flink zakken op de ranglijst. De opties die in de oorspronkelijke berekeningsmethode 'de beste van de rest' waren, worden nu echt de beste: CFB-vergassing en kleinschalige verbranding. Bijstook in een aardgascentrale komt daar nog tussen, omdat zoals gezegd de nieuwe berekeningsmethode gunstiger is voor aardgascentrales dan de oude.

Invulling van de marsroute volgens deze rangorde zou voor de periode tot 2010 drastische veranderingen met zich meebrengen: bij- en meestook in kolencentrales is niet langer de beste optie. Omdat is verondersteld dat CFB-vergassing op een schaal van 30 of 150 MW_e nog niet beschikbaar is, zou bijstook in een aardgascentrale een grote rol gaan spelen.

Voor de periode 2010-2020 zou er niets veranderen: maximale inzet van de CFB-vergasser voor schone stromen en de pyrolyse-opties voor afval.

Een aantal kanttekeningen is hier op zijn plaats:

1. De oorspronkelijke berekeningsmethode geeft accurater weer wat er *feitelijk* bespaard wordt op het gebruik van fossiele brandstoffen. Ook ten aanzien van CO₂-reductie leidt de oorspronkelijke methode tot betere resultaten. Alleen indien bij/meestook in kolencentrales zou leiden tot een langere levensduur van de kolencentrales en/of nieuwe kolencentrales, zou de oorspronkelijke methode uiteindelijk mogelijk tot minder besparing van fossiele brandstof en of CO₂ leiden.
2. Bij invulling van de marsroute volgens de nieuwe methode zou de totale hoeveelheid uitgespaarde brandstoffen dalen, aangezien nu maximaal 0,9 PJ fossiel wordt uitgespaard per eenheid biomassa, terwijl in de oorspronkelijke methode de bij/meestookopties meer dan 0,9 bespaarden (excl. warmtelevering).
3. Vanuit het oogpunt van technologie-ontwikkeling maakt het niet uit welke methode gekozen wordt, aangezien op de langere termijn dezelfde opties gekozen worden.
4. Als aangenomen wordt dat de huidige afspraken met de kolencentrales geïmplementeerd worden (20% bijstook), dan zou de marsroute zoals gepresenteerd in de vorige paragraaf slechts marginaal veranderen.

7. DE INVLOED VAN LANGE TERMIJN TRENDS OP DE MARSROUTES

7.1 Trends en breekpunten in marsroutes

Door TNO is een achtergrondstudie uitgevoerd met als doel inzicht te geven in lange termijn-trends in technologie en maatschappij die van invloed kunnen zijn op de marktpenetratie van conversiesystemen voor energieopwekking uit afval en biomassa. De rapportage van deze achtergrondstudie is als Bijlage F toegevoegd. De achtergrondstudie plaatst de marktpenetratie van energie uit afval en biomassa in een bredere maatschappelijke context. Bovendien wordt de implementatieperiode tot 2020 gepositioneerd als onderdeel van een lange termijn transitie in de energievoorziening.

Op basis van een gerichte literatuurstudie is informatie verzameld over belangrijke maatschappelijke trends en onzekerheden op de lange termijn en de doorwerking van deze trends en onzekerheden in de toekomstige energievoorziening. Hieruit vloeien een aantal kansen en bedreigingen voort voor de marktpenetratie van conversiesystemen voor energiewinning uit biomassa en afval.

De belangrijkste robuuste trends die zijn onderscheiden:

- mondiale bevolkingsgroei en met name in de EU een toenemende vergrijzing, hetgeen gevolgen heeft voor het energiegebruik,
- een voortgaande economische groei, comfort wordt steeds belangrijker in de levensstijl van EU-burgers,
- verdere groei van de energievraag,
- steeds verdere penetratie van informatietechnologie, onder meer leidend tot een ont koppeling van tijd / plaats in de relatie tussen vraag en aanbod van (energie)producten en diensten,
- Europese integratie zet door, waarmee de betekenis van EU-beleid voor nationaal beleid steeds groter wordt.

Een conclusie over de doorwerking van deze trends in de toekomstige energievoorziening is dat de kern-karakteristieken van de huidige energievoorziening tot 2020 ongewijzigd blijven. Vooralsnog blijft het aandeel van fossiele energiedragers (m.n. aardgas) in de energievoorziening dominant en blijft het kostenniveau van fossiele energiedragers stabiel lager dan het kostenniveau van energie uit afval en biomassa. Tegelijkertijd is te verwachten dat onder invloed van regelgeving t.a.v. klimaat en milieu een duidelijke stimulans wordt gegeven aan de marktpenetratie van conversiesystemen voor energie uit afval en biomassa. Voor de marsroutes is een belangrijke - maar onzekere - factor hoe zich onder invloed van deze krachten de beschikbaarheid en prijs van afval- en biomassastromen ten behoeve van energieopwekking zal ontwikkelen, ook in vergelijking met andere energiedragers.

Op basis van de achtergrondstudie zijn enkele kritische factoren aangeduid die bepalend zijn voor de marktpenetratie van conversiesystemen in de periode tot 2020. Deze kritische factoren vormen 'breekpunten' voor de (basis-)marsroutes in het vorige hoofdstuk en leiden daarmee tot alternatieve marsroutes.

In dit hoofdstuk worden die marsroutes nader uitgewerkt. Het gaat om de volgende breekpunten/marsroutes:

- Het wegvallen van het beleid gericht op stimulering van duurzame energie (Paragraaf 7.2).
- Regulering van de landbouw- en afvalsector, op Europees niveau (Paragraaf 7.3).

- Extra beschikbaarheid van binnenlandse en buitenlandse biomassa- en afvalstromen (Paragraaf 7.4).
- Europese CO₂-heffing in plaats van het nationale beleid (Paragraaf 7.5).

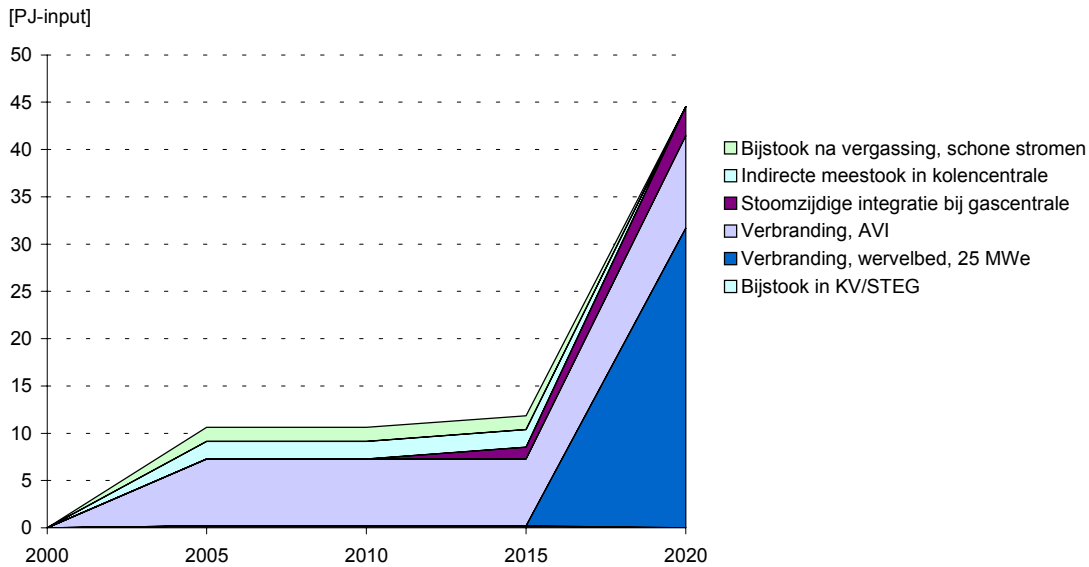
Indien relevant wordt voor elke marsroute zowel het bedrijfseconomisch perspectief als het overheidsperspectief uitgewerkt.

7.2 Het wegvallen van het beleid

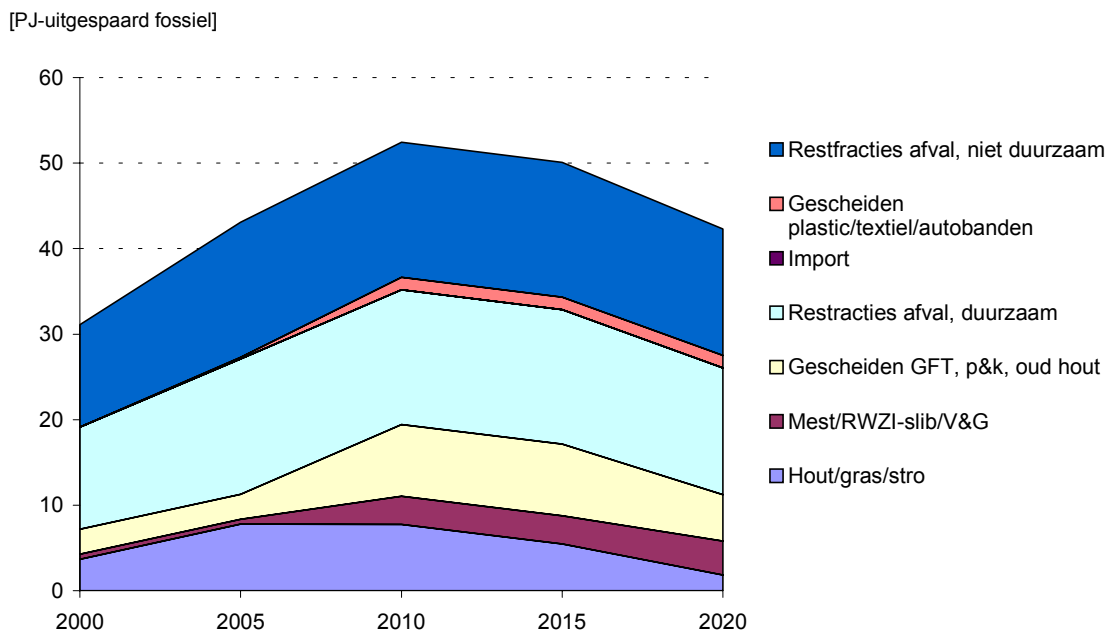
In deze marsroute wordt impliciet verondersteld dat de urgentie van (het nationale) klimaatbeleid en duurzame energie verdwijnt en daarmee ook het beleid zelf. Dit is in de ogen van de meeste deskundigen een onrealistische aanname, maar fungeert hier vooral als waarschuwing. Al die ondersteuning van duurzame energie wordt bijna als vanzelfsprekend verondersteld, maar is dat natuurlijk niet. Dus het is goed te weten hoe het plaatje eruit ziet zonder al die ondersteuning. Dus in deze marsroute is er geen VAMIL, IEA, REB, groene stroom. Verder wordt voor de beschikbaarheid uitgegaan van het scenario van een vrije wereld zonder actief klimaatbeleid. In dat scenario neemt de beschikbaarheid van bijproducten uit land- en bosbouw en biomassa-afvalstromen in de loop van de tijd sterk af. Voor de rest dezelfde veronderstellingen als bij het basispad.

Zoals al aangegeven in Paragraaf 4.1 daalt het aantal combinaties met een positieve NCW naar 56. In feite houden alleen bij/meestookopties met positieve score of positieven NCW (enkele uitzonderingen daargelaten). Een aantal stromen (bosbouw/fruitsector, miscanthus/hooi van graszaden, pluimveemest, gescheiden ingezameld oud en bewerkt hout) kan nu helemaal niet meer rendabel ingezet worden.

De technologie-inzet wijkt niet veel af van het basispad. Doordat minder stromen ingezet worden en een aantal stromen nu veel kleiner zijn, worden de maximale bijstookfactoren bij lange na niet bereikt. In de tweede en derde periode zijn er vrijwel geen rendabele investeringen meer voorhanden, zowel omdat de rentabiliteit onvoldoende is, als omdat de beschikbaarheid van een aantal stromen (schone biomassa, gescheiden ingezamelde stromen) minimaal is. Voor een enkele stroom (bermgras, RWZI-slib) is stoomzijdige integratie in gascentrales het meest rendabel. Voor wat betreft afvalverwerking hebben wervelbedverbranding en stoomzijdige integratie in een gascentrale, van brandstof uit KWD- en huishoudelijk afval een positieve NCW. De NCW/inv voor stoomzijdige integratie is iets hoger, maar zoals aangegeven in Paragraaf 4.3 is de 'ruimte' hiervoor beperkt (weinig nieuwe gascentrales). Daarom wordt wervelbedverbranding ingezet. Voor de overige afvalstromen wordt de AVI ingezet.

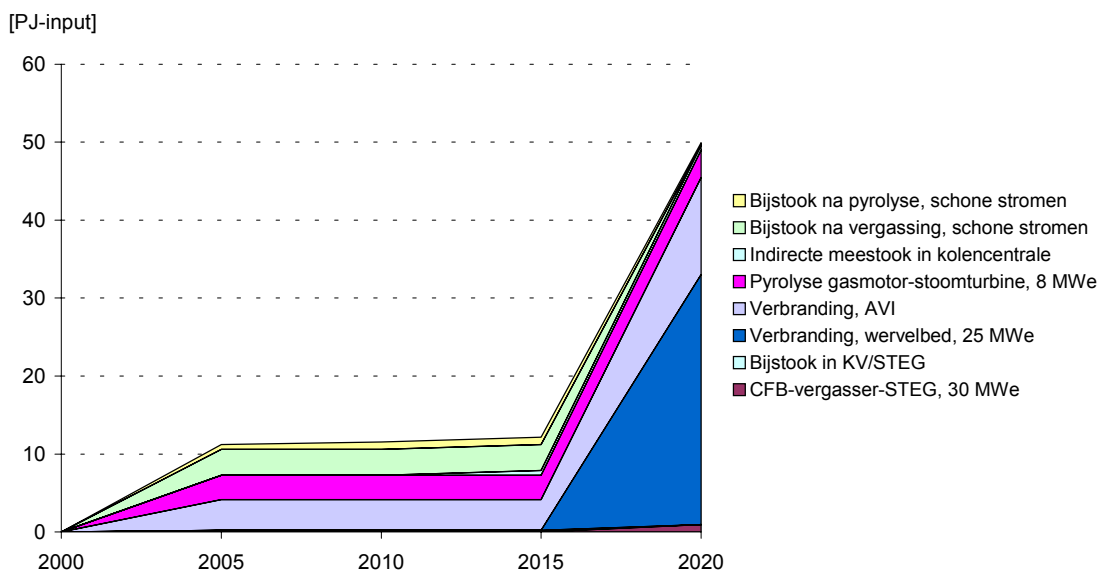


Figuur 7.1 *Technologiekeuze bij 'geen beleid', bedrijfseconomisch perspectief (n.b. exclusief reeds bestaande plannen en initiatieven)*



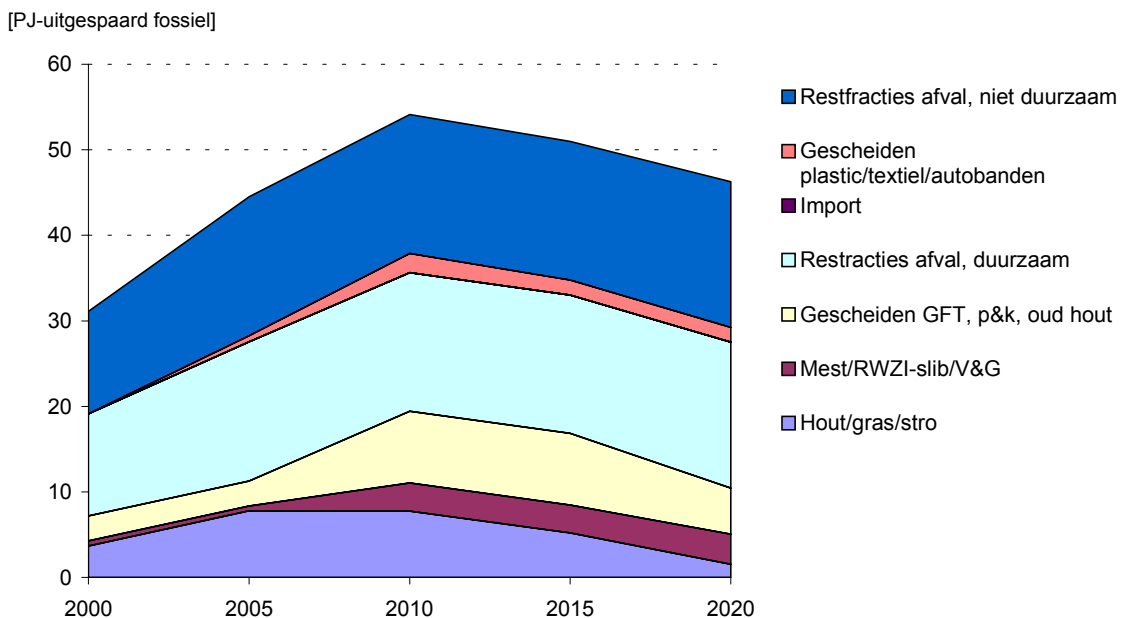
Figuur 7.2 *Besparing op fossiele brandstoffen bij 'geen beleid', bedrijfseconomisch perspectief (n.b. inclusief de besparing als gevolg van nu reeds bestaande of geplande energieopwekking uit afval en biomassa)*

Ook in het overheidsperspectief voor deze marsroute worden weinig biomassa-stromen ingezet. Door het wegvallen van het beleid zijn er zelfs geen technologieën met een terugverdientijd korter dan 15 jaar. In de laatste periode wordt de pyrolyse-gasmotor ingezet voor industrieel afval, stoomzijdige integratie in gascentrales voor het KWD-afval en wervelbedverbranding voor het huishoudelijk afval. De resultaten zijn te zien in Figuur 7.3 en 7.4.



Figuur 7.3 *Technologiekeuze bij 'geen beleid', overheidsperspectief*
(n.b. exclusief reeds bestaande plannen en initiatieven)

De overheidsdoelstellingen voor besparing op fossiele brandstoffen worden bij lange na niet gehaald. De hoeveelheid uitgespaarde fossiele brandstoffen is nauwelijks hoger dan in het bedrijfseconomisch perspectief en ook niet veel hoger dan het huidige niveau. Dat is het gevolg van de lage beschikbaarheid van biomassa en afval én van de gebrekkige rentabiliteit als gevolg van het wegvallen van het stimuleringsbeleid.

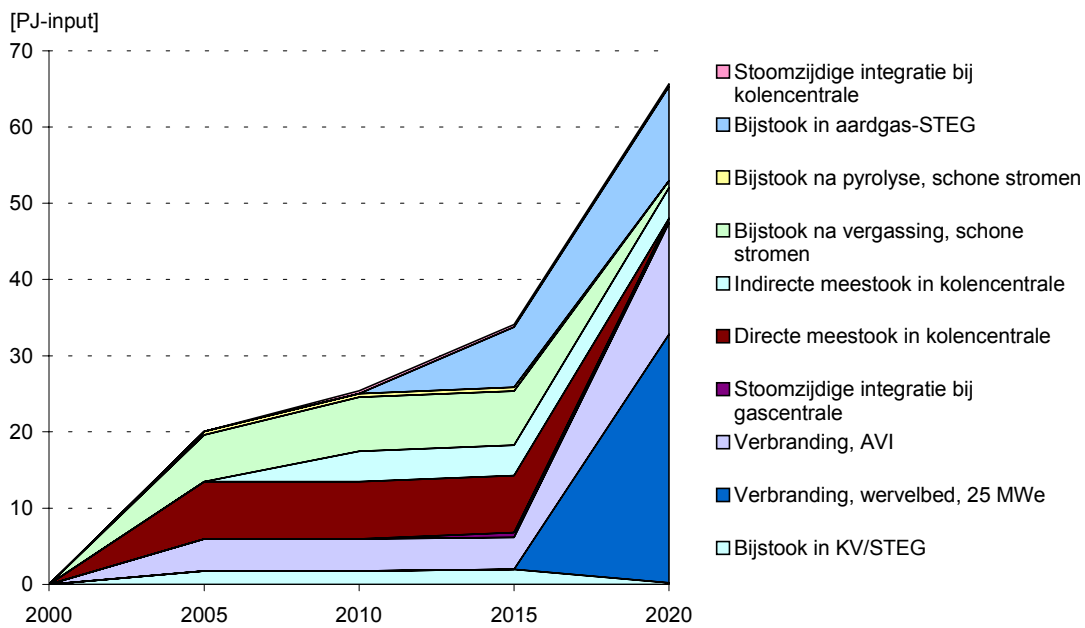


Figuur 7.4 *Besparing op fossiele brandstoffen bij 'geen beleid', overheidsperspectief*
(n.b. inclusief de besparing als gevolg van nu reeds bestaande of geplande energieopwekking uit afval en biomassa)

7.3 Regulering van de landbouw- en afvalsector

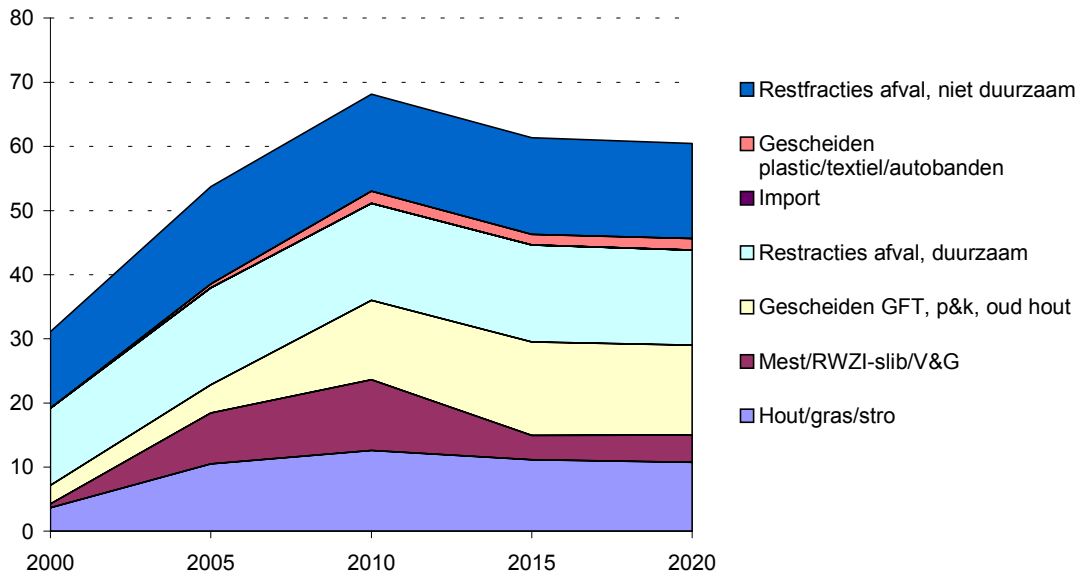
Dit breekpunt wordt geconcretiseerd door uit te gaan van het beschikbaarheidsscenario, dat gekenschetst wordt als 'gereguleerd en klimaatactief'. Dit betekent met name voor de niet-biomassa afvalstromen en de bijproducten uit land- en bosbouw dat de beschikbaarheid veel lager wordt. Wel is er sprake van energieteelt. De biomassa-afvalstromen nemen licht af.

Voor de technologie-inzet in het bedrijfseconomisch perspectief heeft dit als gevolg dat de kolencentrales niet 'vollopen'. Tot en met de derde periode worden alleen bijstookopties ingezet. In de vierde periode wordt vooral bijstook in gascentrales ingezet. De restfracties van KWD- en huishoudelijk afval worden met dezelfde argumentatie als in het basispad ingezet in wervelbedverbranding. De overige restfracties worden in AVI's ingezet. Dit leidt tot de volgende plaatjes:



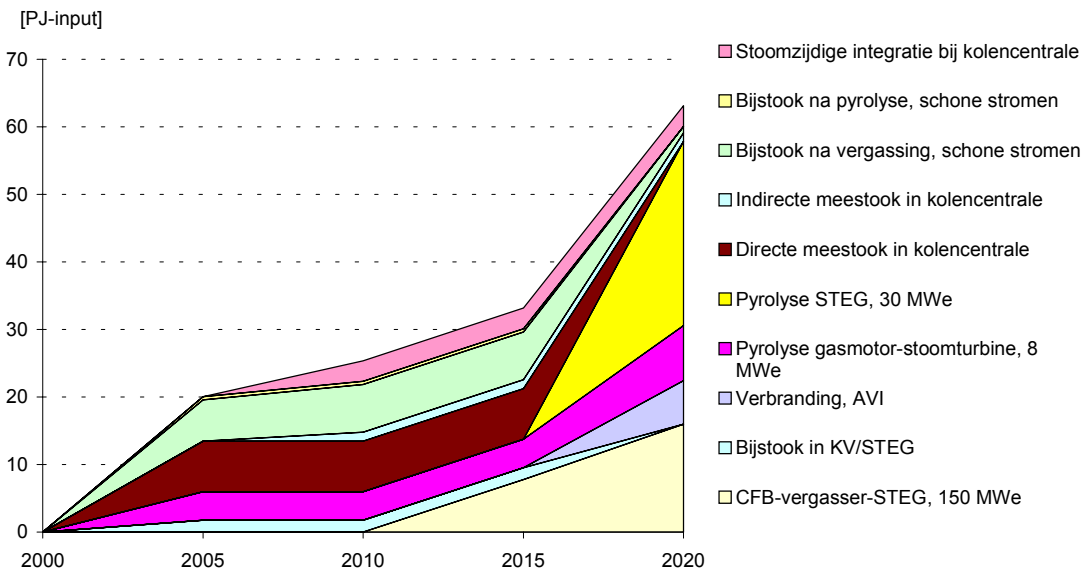
Figuur 7.5 *Technologiekeuze bij 'regulering landbouw- en afvalsector', bedrijfseconomisch perspectief (n.b. exclusief reeds bestaande plannen en initiatieven)*

[PJ-uitgespaard fossiel]



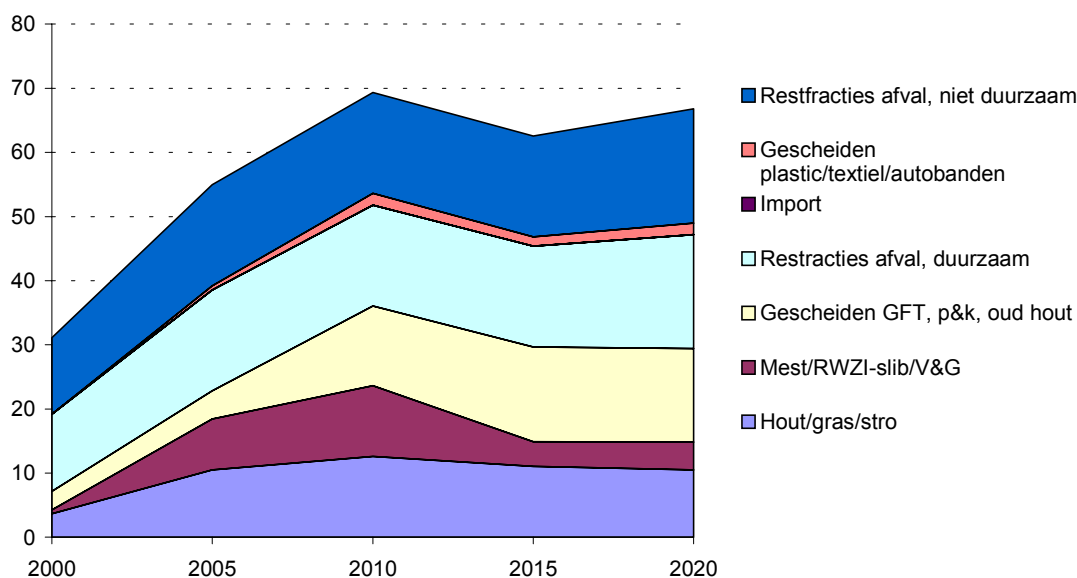
Figuur 7.6 *Besparing op fossiele brandstoffen bij 'regulering landbouw- en afvalsector', bedrijfseconomisch perspectief (n.b. inclusief de besparing als gevolg van nu reeds bestaande of geplande energieopwekking uit afval en biomassa)*

Wat betreft het overheidsperspectief: t.o.v. het basispad verandert de technologiekeuze nauwelijks. Ook nu wordt de doelstelling niet gehaald vanwege de geringe beschikbaarheid van biomassa en afval voor energieopwekking.



Figuur 7.7 *Technologiekeuze bij 'Regulering landbouw- en afvalsector', overheidsperspectief (n.b. exclusief reeds bestaande plannen en initiatieven)*

[PJ-uitgespaard fossiel]



Figuur 7.8 *Besparing op fossiele brandstoffen bij 'regulering landbouw- en afvalsector', overheidsperspectief (n.b. inclusief de besparing als gevolg van nu reeds bestaande of geplande energieopwekking uit afval en biomassa)*

7.4 Extra beschikbaarheid

Hier wordt onderscheid gemaakt tussen extra binnenlandse beschikbaarheid en import. Voor extra binnenlandse beschikbaarheid zal worden uitgegaan van de maximale beschikbaarheid zoals aangegeven in het eindrapport van taak 1. In Tabel 7.1 is aangegeven om welke stromen en hoeveelheden (in PJ) het gaat. Ook is aangegeven met welke prijzen voor deze extra stromen gerekend wordt. Deze prijzen zijn niet meer dan indicaties (zie verder (Koppejan, 2000)).

Tabel 7.1 *Hoeveelheden en prijzen van extra binnenlandse beschikbaarheid*

	[PJ]	[gld/GJ]
Bosbouw/fruitsector	5	4
Stro (granen)/koolzaadstro/Hennep etc.	10	23
Miscantus/hooi van graszaden	2	15
Rundermest, kalvermest en varkensmest	95	0
V&G/Swill	22	91
Gescheiden ingezameld GFT	5	-21
Gescheiden ingezameld oud papier en karton	10	-4
Gescheiden ingezamelde kunststoffen	14	-6
Gescheiden ingezamelde textiel	4	0
<i>Totaal</i>	<i>166</i>	

Wat betreft de rentabiliteit van deze stromen kan het volgende worden gezegd (n.b. zelfde aannames als in basispad):

- De stromen V&G/Swill, rundermest en Stro (granen) waren al niet rendabel in te zetten en zijn dat nu dus nog minder. Ook in het overheidsperspectief worden ze niet ingezet omdat de terugverdientijd langer dan 15 jaar is.
- Miscanthus/hooi van graszaden is bij deze prijzen niet langer rendabel in te zetten en wordt daarom alleen in het overheidsperspectief benut.

- De overige stromen zijn bij deze prijzen wel rendabel en zullen dus zowel in het bedrijfs-economisch als het overheidsperspectief ingezet worden. Dat impliceert een extra inzet van ongeveer 40 PJ biomassa en afval.

Voor import is gerekend met twee tranches. Deze getallen zijn overgenomen uit (Ybema, 1999). Ter vergelijking: in (UCE, 2000) wordt aangegeven dat in grote delen van de wereld de productie-kosten 1,5-2 US\$/GJ bedragen. Daar komen dan de transportkosten naar Nederland nog bij.

Tabel 7.2 *Beschikbaarheid en prijs (aan de poort van de centrale) van geïmporteerde biomassa*

		2010	2020
Eerste tranche	[PJ]	15	30
Eerste tranche	[gld/GJ]	7,5	7,5
Tweede tranche	[PJ]	100	200
Tweede tranche	[gld/GJ]	12	12

Als mogelijke technologieën voor de extra import is (enigszins arbitrair) gekozen voor de grote CFB-vergasser, wervelbedverbranding en bijstook in een gascentrale.

De tweede tranche heeft in geen enkele periode een positieve NCW of score en speelt derhalve in het bedrijfseconomisch perspectief geen rol. De tweede tranche heeft wel vanaf de eerste periode een terugverdientijd kleiner dan 15 jaar voor bijstook in een gascentrale en na 2010 ook voor de CFB-vergasser. In het overheidsperspectief kan de tweede tranche dus wel een rol spelen.

De eerste tranche heeft (vanaf het begin) alleen een positieve NCW score voor bijstook in een gascentrale. Voor wervelbedverbranding wordt de NCW in de derde periode net positief en in de vierde periode voor de grote CFB-vergasser eveneens.

Nota bene: aangenomen is dat alle instrumenten van toepassing zijn: afdrachtskorting REB, groene stroom-vergoeding en EIA/Vamil.

Interessante vraag in dit verband is wat import van biomassa mag kosten om rendabel te zijn in het bedrijfseconomisch perspectief of een terugverdientijd heeft van minder dan 15 jaar in het overheidsperspectief. In Tabel 7.3 is dit weergegeven.

Tabel 7.3 *Wat mag biomassa-import kosten?*

Technologie	NCW>0	NCW>-0,5 (=tvt<15)
CFB-vergasser, 150 MW _e	Maximaal 8,5 gld/GJ	Maximaal 14,5 gld/GJ
Bijstook in gascentrale	Maximaal 11 gld/GJ	Maximaal 13,5 gld/GJ

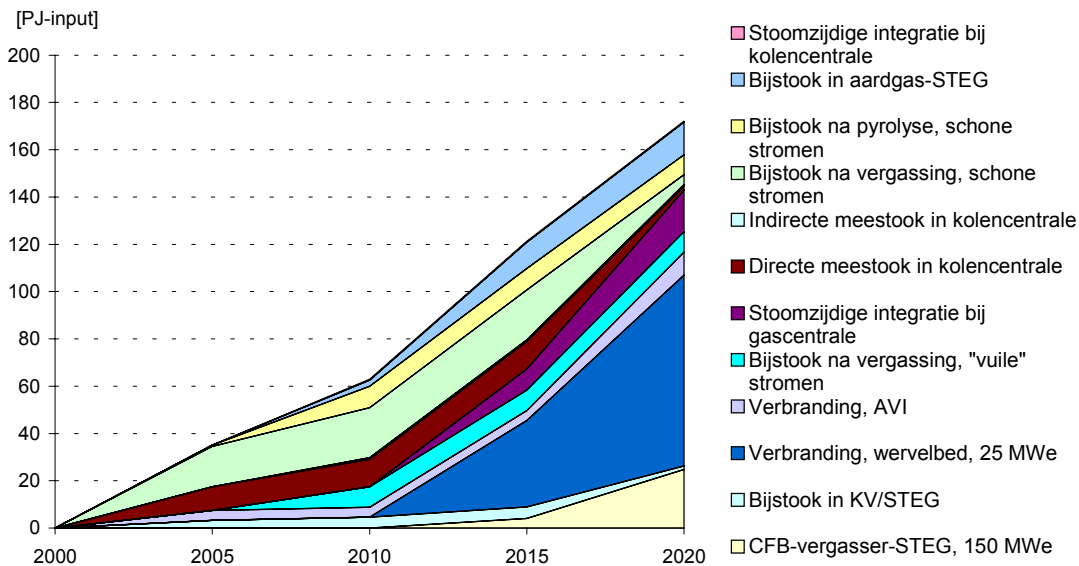
Het ligt voor de hand om voor massale import aparte stand-alone installaties neer te zetten, dus de getallen voor de CFB-vergasser geven de meest zinvolle richtprijzen.

Overigens geeft import tegen de gehanteerde prijs voor tranche 1 wel hogere kWh-kosten dan offshore wind (zie Paragraaf 5.3). Dus als import van biomassa en offshore wind allebei beschouwd zouden worden als vormen van import van duurzame energie, dan is offshore wind goedkoper (Import biomassa-CFB-vergasser leidt tot een kWh-prijs van 6,5 ct., tegen 2,5 ct. voor offshore wind; beiden na aftrek van alle fiscale instrumenten).

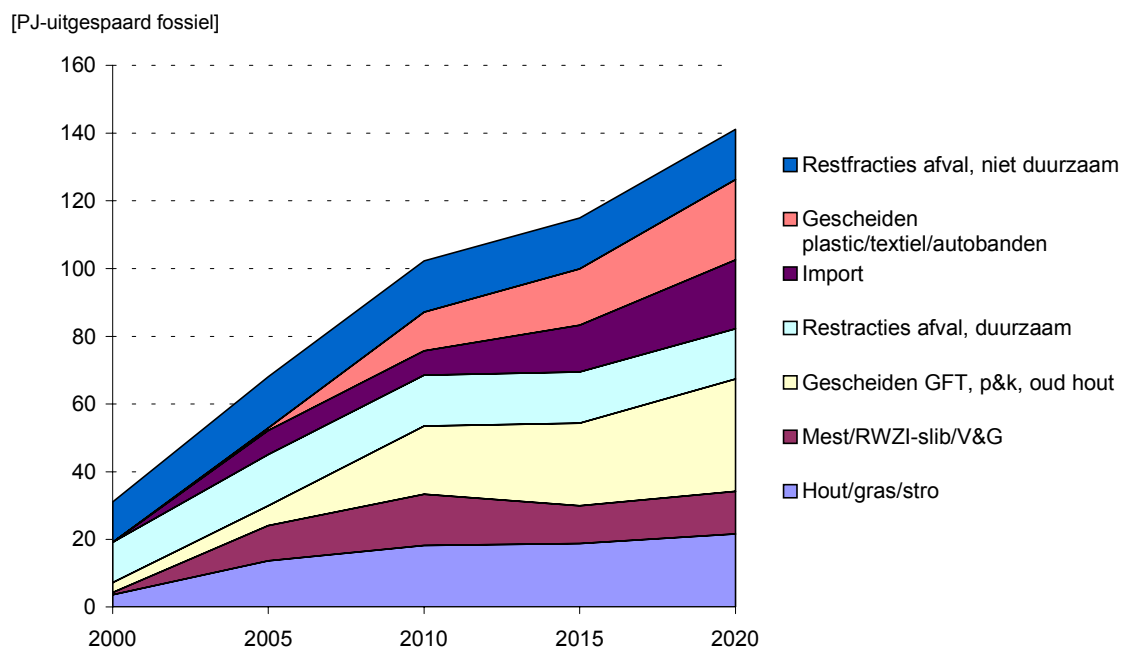
Invulling bedrijfseconomisch perspectief

T.o.v. het basispad lopen de kolencentrales nu nog sneller vol door de grotere binnenlandse beschikbaarheid van biomassa en afval. In de eerste periode is nog wel ruimte voor vergassing-bijstook van de geïmporteerde eerste tranche. Al in de tweede periode wordt deels overgeschakeld naar bijstook in gascentrales. In de derde periode wordt net als in het basispad wervelbed-

verbranding ingezet omdat al in een groot deel van de gascentrales wordt bijgestookt. In de derde en vierde periode wordt daarom ook voor een aantal stromen overgeschakeld op de grote CFB-vergasser, die dan, voor een aantal stromen, een positieve NCW heeft (zij het lager dan bijstook in kolen- of gascentrales). Desondanks wordt er in 2020 al in 55% van alle gascentrales bijgestookt. In de derde periode wordt wervelbedverbranding ingezet voor de eerste tranche import, in de vierde periode de CFB-vergasser. Dit leidt tot de volgende figuren.



Figuur 7.9 *Technologiekeuze bij 'extra beschikbaarheid', bedrijfseconomisch perspectief (n.b. exclusief reeds bestaande plannen en initiatieven)*

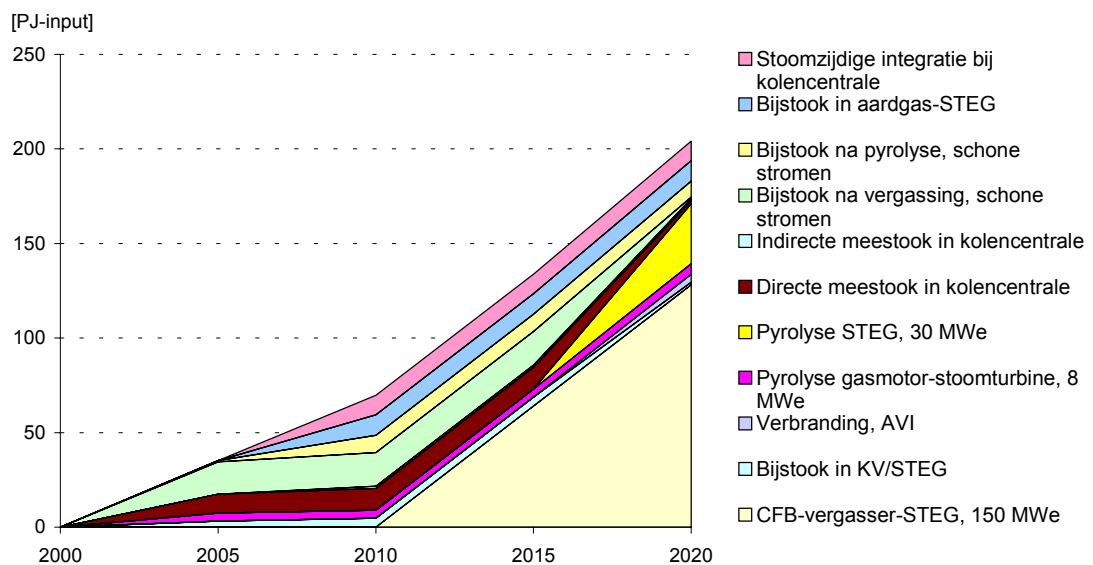


Figuur 7.10 *Besparing op fossiele brandstoffen bij 'extra beschikbaarheid', bedrijfseconomisch perspectief (n.b. inclusief de besparing als gevolg van nu reeds bestaande of geplande energieopwekking uit afval en biomassa)*

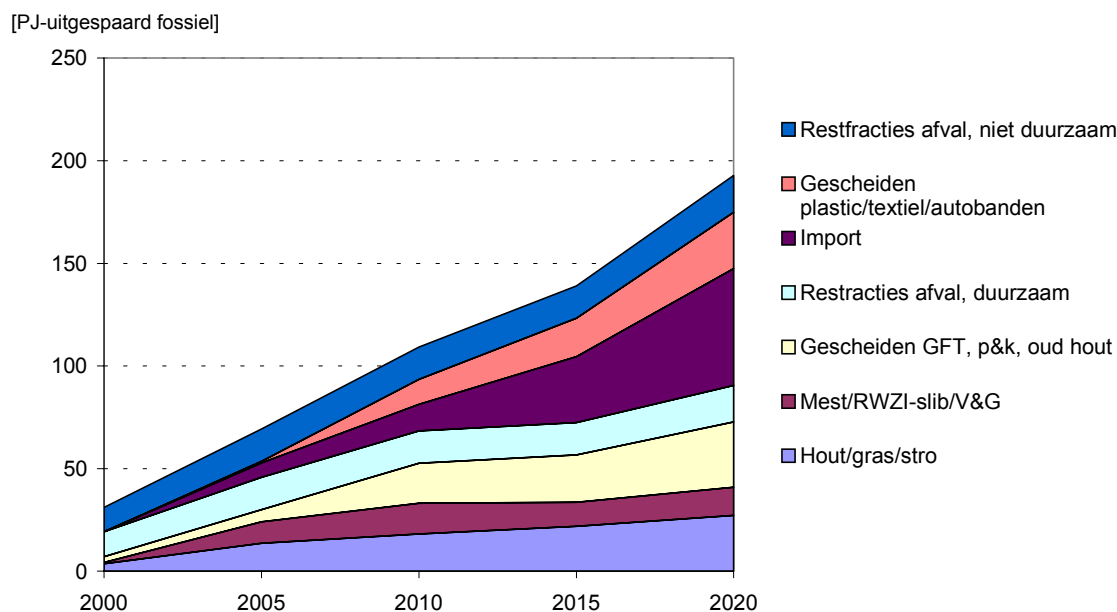
De besparing op fossiele brandstoffen neemt wel fors toe t.o.v. het basispad (van 97 PJ naar 141), maar de overheidsdoelstelling wordt in dit bedrijfseconomisch perspectief niet gehaald.

Invulling overheidspectief

Ook hier is in de eerste periode ruimte voor bijstook van geïmporteerde biomassa in de oude kolencentrales. In de tweede periode lopen de nieuwe kolencentrales gauw vol tot 30% bijstook, zodat ook bijstook in gascentrale wordt ingezet (ook voor import). Vanaf de derde periode worden de schone biomassastromen (incl. import) ingezet in de grote CFB-vergasser. De restfracties afval worden in de vierde periode ingezet in de pyrolyse-opties (zie beschrijving basispad). Na 2010 wordt de tweede tranche import ingezet (ongeveer 20% van het veronderstelde potentieel) om de doelstelling van uitgespaard fossiel in 2020, 192 PJ, te halen. Het opgestelde vermogen aan CFB-vergassers loopt op tot ongeveer 3000 MW in 2020. Zoals aangegeven in Paragraaf 6.2 bedragen de kosten per ton vermeden CO₂ van de tweede tranche import ongeveer 250 gld/ton. Ter vergelijking: in de Uitvoeringsnota Klimaatbeleid, dat gaat over de Kyoto-doelstelling voor 2010, worden alleen opties met kosten lager dan 150 gld/ton in beschouwing genomen.



Figuur 7.11 *Technologiekeuze bij 'extra beschikbaarheid', overheidspectief (n.b. exclusief reeds bestaande plannen en initiatieven)*



Figuur 7.12 *Besparing op fossiele brandstoffen bij 'extra beschikbaarheid', overheids perspectief (n.b. inclusief de besparing als gevolg van nu reeds bestaande of geplande energieopwekking uit afval en biomassa)*

7.5 Europese CO₂-heffing

Het is niet ondenkbaar dat op termijn er een Europese CO₂-heffing komt die in de plaats komt van het Nederlandse beleid. Bij een heffing van 50 Euro per ton CO₂ is de rentabiliteit van biomassa/afval projecten slechter dan met het huidige Nederlandse beleid (zie Paragraaf 4.1: het aantal rendabele combinaties is dan 87 i.p.v. 122), terwijl dat toch een forse heffing is (komt overeen met ongeveer 20 dollar per barrel). Een CO₂-heffing stimuleert meer dan het Nederlandse beleid vervanging van kolen, dus de conclusies uit het basispad worden nog eens versterkt: bij/meestook in kolencentrales is de meest aantrekkelijke optie. Al met al leidt deze marsroute niet tot wezenlijk andere uitkomsten dan in het basispad (Hoofdstuk 5 en 6).

8. CONCLUSIES

8.1 Besparing op fossiele brandstoffen

Het gehanteerde doel

Indien wordt verondersteld dat de 10%-doelstelling voor duurzame energie gerelateerd wordt aan recente energie-scenario's (met een behoorlijk sterk stijgend energiegebruik tot 2020) en een aandeel daarin van afval en biomassa van 44% (zoals in de Derde Energienota), dan zou in 2020 192 PJ fossiele energie bespaard moeten worden door de inzet van afval en biomassa.

De resultaten van de marsroutes

De besparing op fossiele brandstoffen als gevolg van de inzet van biomassa en afval voor elektriciteitsopwekking in 2020, varieert in de marsroutes van 42 tot 192 PJ. De ondergrens doet zich voor in de marsroute waarin verondersteld is dat er in Europa en Nederland geen actief klimaatbeleid gevoerd wordt, wat resulteert (zo is aangenomen) in een lagere beschikbaarheid van afval en biomassa en het wegvallen van het stimuleringsbeleid (EIA/VAMIL, REB, groene stroom). De omvang van uitgespaarde fossiele brandstoffen is dan niet veel hoger dan het huidige niveau. De bovengrens doet zich voor in de marsroute waarin het huidige stimuleringsbeleid wordt gehandhaafd, de beschikbaarheid van binnenlandse biomassa- en afvalstromen toeneemt en er biomassa geïmporteerd wordt om het gestelde doel te halen. Zonder de import is in die marsroute de omvang van uitgespaarde fossiele brandstoffen 136 PJ. Met maximale warmtelevering bij stand-alone installaties is dit mogelijk op te hogen tot ruim 158 PJ.

Bij voortzetting van het huidige stimuleringsbeleid, geen onttrekking van biomassa- en afvalstromen aan andere toepassingen en zonder import van biomassa (het basispad, bedrijfseconomisch perspectief), wordt er naar schatting 100 PJ fossiele brandstoffen bespaard in 2020. Als de overheid een zodanige sturing kan uitvoeren dat de technologieën met de hoogste besparing op fossiele brandstoffen worden gekozen (mits de terugverdientijd van de betreffende technologieën korter is dan 15 jaar), dan kan die 100 PJ groeien tot 115-130 PJ (de bovengrens hoort bij maximale warmtelevering bij stand-alone installaties).

In Tabel 8.1 zijn de resultaten van de marsroutes in termen van uitgespaarde fossiele brandstoffen samengevat. Beschikbaarheid van afval en biomassa speelt een grote rol als het gaat om de besparing op fossiele brandstoffen in 2020: bij een tweetal scenario's (wegvallen van de urgentie van het klimaatbeleid en regulering van de landbouw- en afvalsector op Europees niveau) is die beschikbaarheid zodanig dat de gehanteerde doelstellingen bij lange na niet gehaald worden.

Tabel 8.1 *Resultaten marsroutes voor het jaar 2020 [PJ uitgespaard]*

Marsroute	Bedrijfseconomisch perspectief	Overheids perspectief	Overheidsperspectief met maximaal wkk bij stand-alone installaties
Wegvallen stimuleringsbeleid	42	46	51
Regulering landbouw en afvalsector	60	67	77
<i>BASISPAD (huidig beleid)</i>	<i>97</i>	<i>114</i>	<i>132</i>
Basispad met extra binnenlandse beschikbaarheid	121	136	158
Basispad met extra binnenlandse beschikbaarheid én import	141	192	Nvt

Waarom wordt het doel zo moeizaam gehaald?

Dit is vooral het gevolg van een te geringe binnenlandse beschikbaarheid, en in veel mindere mate van het ontbreken van rendabele conversietechnologieën. Dit wordt geïllustreerd door het feit dat in het basispad (huidig beleid, relatief hoge beschikbaarheid) van alle beschikbare stromen 80% (op PJ-basis, in de periode 2015-2020) op rendabele wijze ingezet kan worden, waarmee de besparing op fossiel in 2020 uitkomt op ‘slechts’ 97 PJ.

Rol van import van biomassa cruciaal voor behalen doel

Gezien de conclusie dat de binnenlandse beschikbaarheid onvoldoende is om de gestelde doelen te halen, is het van cruciaal belang hoeveel biomassa er tegen acceptabele prijzen geïmporteerd kan worden. In de studie is uitgegaan van twee tranches. De eerste tranche heeft een omvang van 30 PJ in 2020 en kost 7,5 gld/GJ (aan de poort van de centrale). De tweede tranche heeft een omvang van 200 PJ in 2020 en kost 12 gld/GJ. Om de doelstelling te halen moet ook de tweede tranche aangesproken worden.

Import van biomassa vergt overigens een veel bredere beoordeling dan alleen vanuit de Nederlandse energie-doelstelling voor biomassa. Het gaat immers ook om de rol van biomassa in de landen van herkomst, natuurbeheer, biodiversiteit, etc.

Warmtelevering?

In deze studie is alleen voor kleinschalige installaties (tot 10 MW_e) warmtelevering verondersteld. Warmtelevering komt zowel de rentabiliteit als de besparing op fossiele brandstoffen ten goede. Voor de rentabiliteit geldt dat a fortiori indien, vergelijkbaar met elektriciteit, naast de afdrachtskorting REB een extra vergoeding voor groene warmte geïncasseerd zou kunnen worden (hetgeen in deze studie *niet* is aangenomen). De kleinschalige gasmotoropties leiden ondanks de warmtelevering niet tot meer uitgespaarde fossiele brandstoffen dan de meeste bij- en meestookopties, omdat hun elektrisch rendement te ver onder het referentierendement ligt. Warmtelevering zonder elektriciteitsopwekking doet het op dit punt zelfs beter dan kleinschalige wkk, maar is economisch erg onrendabel als gevolg van de lage veronderstelde bedrijfstijd en het ontbreken van een ‘groene warmte’ vergoeding.

Warmtelevering bij (min of meer) grootschalige stand-alone installaties met een hoger elektrisch rendement, zou in de marsroutes wél kunnen leiden tot meer uitgespaarde fossiele brandstoffen. Echter, er vindt in de marsroutes veel bij- en meestook plaats bij bestaande centrales, waar eventuele warmtelevering al is ‘ingeboekt’ als energiebesparing en, in de gehanteerde methodiek van berekening van uitgespaarde brandstoffen, niet meer wordt toegerekend aan de biomassa- en afvalinzet. In de marsroute volgens het overheidsperspectief (basispad) zou warmtelevering bij alle stand-alone elektriciteitscentrales op afval en biomassa in principe 15 à 20 PJ extra besparing in 2020 kunnen opleveren.

Concurrentie met andere opties

Ten aanzien van de ‘concurrentie’ met andere opties voor CO₂-reductie kan gesteld worden, dat de bij- en meestookopties qua kosten passen in de range van het basispakket uit deel 1 van de Uitvoeringsnota Klimaatbeleid. Bij de gehanteerde importprijzen voor import (7,5 en 12 gld/GJ, aan de poort van de centrale), zit deze optie aan de bovenkant van die range.

Ten opzichte van transportbrandstoffen uit biomassa, zoals bestudeerd in GAVE-kader, kan gesteld worden dat de bij/meestookopties goedkoper zijn en dat de goedkopere stand-alone opties vergelijkbare kosten hebben, in termen van kosten per ton CO₂.

Ten aanzien van andere duurzame opties voor elektriciteitsopwekking is de vergelijking met offshore wind het meest relevant. In z’n algemeenheid kan gesteld worden dat de bij- en meestookopties tot een lagere kWh-prijs leiden dan offshore wind. Stand-alone opties, met na-

me voor stromen met een positieve prijs, kennen in het algemeen een hogere kWh-prijs dan offshore wind.

Invloed berekeningsmethodiek

Er is in de studie voor gekozen om de omvang van de besparing op fossiele brandstoffen voor stand-alone opties te berekenen via het referentierendement van het elektriciteitspark, maar voor bij/meestookopties via de hoeveelheid uitgespaarde brandstof in de betreffende centrale. Deze berekeningsmethodiek geeft in principe het meest accuraat aan hoeveel fossiele brandstoffen daadwerkelijk uitgespaard zullen worden, en is sterk in het voordeel van bij/meestook in kolencentrales. Als ook bij/meestook in kolencentrales op dezelfde wijze behandeld zou worden als stand-alone centrales, daalt de (berekende) hoeveelheid uitgespaard fossiel drastisch. Immers, 1 PJ uitgespaarde kolen in de centrale leidt slechts tot 0,8 PJ uitgespaard fossiel volgens de methode van het parkrendement (circa 40% rendement voor kolen, 50% voor het park). Volgens deze berekeningsmethode leidt inzet van biomassa/afval in kolencentrales niet tot de hoogste besparing op fossiel. Bijstook in aardgascentrales is, op termijn samen met de grootschalige CFB-vergassing, volgens deze berekeningsmethodiek de beste optie.

8.2 Technologiekeuze

Bij- en meestook spelen op de korte termijn dominante rol

Bij- en meestook in kolencentrales springen eruit als meest aantrekkelijke technologieën. Ook bijstook in gascentrales speelt een zeer belangrijke rol in de marsroutes.

In het bedrijfseconomisch perspectief zijn bij- en meestookopties in kolencentrales met afstand het meest rendabel, gevolgd door bijstookopties in gascentrales. In het overheidsperspectief zijn het ook de bij/meestookopties die de eerste tien jaar tot de meeste besparing op fossiele brandstoffen leiden. Afhankelijk van de berekeningsmethodiek gaat het dan om bij/meestook in kolencentrales of bijstook in gascentrales.

In de berekeningen is aangenomen dat ook in het geval van bij/meestook in kolencentrales een Groene Stroom vergoeding van toepassing is van een aantal biomassastromen. Indien de uit bij/meestook in kolencentrales opgewekte stroom niet verkocht wordt als Groene Stroom (en dus niet profiteert van het nihiltarief), wordt in de meeste gevallen bijstook in een aardgascentrale (of stoomzijdige integratie) de meest aantrekkelijke technologie. Daarnaast wordt de 'voorsprong' in rentabiliteit op de stand-alone opties (m.n. wervelbedverbranding) veel kleiner, maar hij blijft bestaan.

CFB-vergassing van biomassa en pyrolyse van afval meest veelbelovende nieuwe technologieën voor de langere termijn.

Van de 'nieuwe' stand-alone technologieën leveren alleen de pyrolyse-opties (voor afvalverwerking) en de CFB-vergasser-STEG (voor schone biomassa en gescheiden ingezamelde afvalstromen) een significante bijdrage aan de marsroutes, zowel in het bedrijfseconomisch als overheidsperspectief. In het bedrijfseconomisch perspectief is de concurrentiepositie van CFB-vergassers t.o.v. wervelbedverbranding wel erg gevoelig voor de schattingen van de investeringskosten.

Alternatieve verwerking van afval lijkt bedrijfseconomisch en qua besparing interessant

Wat betreft afvalverwerking lijkt een aanzienlijke bedrijfseconomische winst te behalen met meestook dan wel wervelbedverbranding (met evt. stoomzijdige integratie in kolen- of gascentrales) van brandstof gemaakt uit de resfractie van kantoor-, winkel- en dienstenafval en huishoudelijk afval. Wervelbedverbranding, evt. in combinatie met stoomzijdige integratie in gascentrales, blijft dan over als technologie die in het bedrijfseconomisch perspectief een grote rol speelt. Als het gaat om maximale besparing op fossiele brandstoffen, zijn het vooral de pyroly-

se-opties die de potentie lijken te hebben om veel meer energie uit afval te winnen dan nu met de AVI's gebeurd.

Technologiekeuze lijkt 'robuust'

Gevoeligheidsanalyses wijzen uit dat de bij- en meestookopties tegen een stootje kunnen: ook indien de kosten van bij/meestook hoger worden verondersteld en de kosten van andere opties lager, blijft de rentabiliteit van bij/meestook groter dan van de concurrenten. Het omgekeerde lijkt te gelden voor de kleinschalige (gasmotor-)opties: ook bij gunstige aannames is de rentabiliteit lager dan van de concurrenten. Indien de stroom uit bij- en meestookopties in *kolencentrales* niet verkocht wordt als Groene Stroom, nemen de bijstookopties in *aardgascentrales* veelal de koppositie qua rentabiliteit over.

Grote invloed van 'beschikbaarheid' kolencentrales

De beperkte 'beschikbaarheid' van kolencentrales beïnvloedt de invulling van de marsroutes sterk. Levensduurverlenging van huidige centrales of nieuwbouw zou een nog veel zwaarder accent op bij- en meestook in kolencentrales met zich meebrengen. Dit leidt echter wel tot meer kolengebruik en, zonder additionele eisen aan de CO₂-emissies van die kolencentrales, tot meer CO₂-emissies.

Grote invloed van maximale bijstookfactor

In de studie is een maximale bijstookfactor gehanteerd van 30% (op energiebasis) voor kolencentrales en 10% voor gascentrales. Aangezien de beschikbaarheid van bijstookvermogen een beperkende factor is in de marsroutes, ligt het voor de hand om onderzoek te doen naar de mogelijkheden om de bijstookfactor te verhogen. Zo is bijvoorbeeld één van de claims van HTU dat met de geproduceerde brandstof een veel hogere bijstookfactor haalbaar is.

Biomassa versus aardgas

In de meeste energiemerksenario's tot 2020 breidt het elektriciteitspark in Nederland zich verder uit, met name in de vorm van aardgasgestookte centrales, veelal als warmte/kracht installatie. De vraag kan gesteld worden of een aantal van deze installaties niet biomassa-gestookt zouden kunnen worden. Voor de stromen met een negatieve of licht positieve prijs blijkt m.n. wervelbedverbranding inderdaad een hogere NCW/inv te hebben dan de aardgas-STEG en ook dan de aardgas-STEG inclusief ombouw. De veel hogere investeringskosten worden gecompenseerd door de lagere brandstofkosten, de afdrachtkorting REB en de groene stroom vergoeding. Echter, zolang er bestaande STEG's of kolencentrales voorhanden zijn, blijft bij/meestook een rendabeler benutting van biomassastromen dan stand-alone opties.

Divers beeld

Zowel (wervelbed-)verbranding, vergassing en pyrolyse spelen een belangrijke rol in de marsroutes. HTU speelt een minder grote rol (m.n. omdat verondersteld is dat HTU pas na 2010 beschikbaar is), maar de verschillen in rentabiliteit tussen HTU en de andere bij/meestookopties zijn niet erg groot. Vergisting komt in de marsroutes niet voor, maar met name mestvergisting lijkt perspectieven te bieden indien andere stromen bijgemengd kunnen worden.

Geen kans voor kleinschalige opties?

De kleinschalige stand-alone technologieën komen niet aan bod in de marsroutes, met uitzondering van de pyrolyse-gasmotor optie voor (kleine) afvalstromen. Nagegaan zou moeten worden of wellicht de logistieke voordelen (o.a. contracteerbaarheid van inputs) van kleine installaties in deze studie onderschat worden, en mogelijk de 'economies of scale' van grote installaties overschat. Bovendien kan kleinschalige technologie een onmisbare stap zijn op weg naar groot-schalige installaties.

8.3 Bedreigingen

Bij langere levensduur AVI's geen kans voor nieuwe technologie

In de studie is verondersteld dat bestaande AVI's voor 2020 uit bedrijf genomen worden en een aantal plannen voor nieuwe AVI's nog niet definitief zijn. Als bestaande AVI's langer in bedrijf blijven en/of alle huidige plannen gerealiseerd worden, is er geen ruimte voor nieuwe technologie bij de verwerking van afval. Vanuit het oogpunt van energiebesparing heeft dat behoorlijke consequenties, aangezien juist bij de energiewinning uit afval nog grote winsten te halen lijken (zie boven).

Export?

Afgezien van enkele bestaande projecten is in deze studie geen rekening gehouden met mogelijke export van afval- en/of biomassa'stromen naar het buitenland. Eventuele export heeft natuurlijk direct gevolgen voor het potentieel voor besparing op fossiele brandstoffen in Nederland en zou daarmee het realiseren van de Nederlandse doelstellingen bemoeilijken.

Andere prijzen voor afval en biomassa?

In deze studie is geen rekening gehouden met effecten op de prijzen van biomassa en afval als gevolg van de inzet voor energieopwekking. De huidige negatieve prijzen van veel stromen leveren een belangrijke bijdrage aan de economische rentabiliteit. Het mogelijk stijgen van de prijzen kan daardoor grote gevolgen hebben, temeer daar dit ook effect kan hebben op de contracteerbaarheid.

Veranderingen in het stimuleringsbeleid voor duurzame energie

De huidige fiscale stimulering van duurzame energie heeft een grote invloed op de rentabiliteit van de beschouwde opties. Het geheel vrij worden van de Nederlandse markt voor duurzame energie of (later) van de Europese markt, kan gevolgen hebben van de mate van fiscale ondersteuning. Het huidige Nederlandse stimuleringsbeleid komt overeen met het effect van een Europese heffing van meer dan 50 Euro per ton CO₂. Het is zeer de vraag of een Europese heffing een dergelijk niveau zal bereiken. Zo niet, dan verslechtert de rentabiliteit van de in dit rapport bestudeerde opties. Bovendien kan er meer concurrentie tussen verschillende duurzame opties ontstaan. Bij- en meestook lijken de concurrentie met offshore wind goed aan te kunnen, voor de stand-alone opties wordt dat al veel moeilijker.

Restproducten

In de berekeningen is geen rekening gehouden met de kosten en opbrengsten van verkoop/verwerking van restproducten zoals de assen. De relatie tussen de eigenschappen van de assen en de waarde ervan valt buiten het bestek van deze studie. Impliciet wordt derhalve aangenomen dat deze problematiek geen invloed heeft op de keuze voor technologieën. Met name bij de verschillende verwerkingsroutes voor de restfracties afval verdient deze problematiek veel aandacht.

AFKORTINGEN

CFB	Circulating Fluidised Bed
FB	Fixed Bed
BFB	Bubbling Fluidised Bed
AVI	Afval Verbrandings Installatie
STEG	Stoom- en Gas-Turbine
Wkk	warmte kracht koppeling
V&G	Voeding & Genotmiddelenindustrie
RWZI	Riool Water Zuiverings Installatie
EWAB	Energiewinning uit Afval en Biomassa
R,D&D	Research, development and demonstration
NCW	Netto Contante Waarde
TVT	Terug Verdien Tijd
REB	Regulerende Energie Belasting
VAMIL	Vrije afschrijving Milieuinvesteringen
EIA	Energie Investerings Aftrek
STC	Stroom Technologie Combinatie
KWD-afval	Kantoor- Winkel- en Dienstensector-afval

LITERATUUR

- Ministerie van VROM (1999): *Uitvoeringsnota Klimaatbeleid deel 1*, juni 1999.
- Arthur D. Little (1999): *Analyse en evaluatie van Gave-ketens*, GAVE-rapport 9909 (deel 2 van 3).
- Ybema, J.R., et.al. (1999): *De bijdrage van duurzame energie in Nederland tot 2020*, ECN-C--99-053, Petten, september 1999.
- Dril, A.W.N. van, et.a.l (1999): *Toekomst warmtekrachtkoppeling*, ECN-C--99-086, Petten, oktober 1999.
- Zeevalkink, J.A., R. van Ree (2000): *Conversietechnologieën voor de productie van elektriciteit en warmte uit biomassa en afval*, EWAB Marsroutes Taak 2, TNO/ECN.
- Koppejan, J. (2000): *Formats voor biomassa en afval*, EWAB Marsroutes taak 1, TNO-MEP.
- CE (1999): *Beperking van emissies naar de lucht bij conversie van biomassa naar elektriciteit en warmte*.
- Noord, M. de (1999): *Large-scale offshore wind energy*. ECN-I--99-003, Petten, February 1999.
- Novem: *Protocol monitoring duurzame energie*, september 1999.
- UCE (2000), *Beschikbaarheid biomassa voor energie-opwekking*, juli 2000.
- Danish Institute of Agricultural and Fisheries Economics (1999), *Centralised biogas plants*, October 1999.

BIJLAGE A PRODUCTIE EN BESCHIKBAARHEID VAN BIOMASSA- EN AFVALSTROMEN

	Productie			Beschikbaarheid voor energieopwekking									
	2000		2020	2000		scenario 2 (basispad), 2020						scen 1, 2020	scen 3, 2020
	NL	EU	NL	uit NL	uit EU	NL	uit EU	Ov	Beperkende factor	NL max	NL	uit NL	
Korte omloop hout	2	200	?	2	-	200	-	-	-opp. meerv. functiegebruik	200	-	300	
Hout uit fruitsector en boomkwekerij	294	635	294	100	-	294	-	-	-geen	294	-	294	
Bosbouwbijproducten	2.400	38800	?	425	-	550	500	50	biodiversiteit, kosten, Lansink	1.000	425	600	
Schoon resthout (incl. bast), vers	600	50970	?	270	150	600	-	300	-geen	600	-	-	
Koolzaad (zaad)	4	11892	?	-	-	-	-	50	-kosten teelt	-	-	-	
Miscanthus	1	3	?	1	-	200	-	-	-bep. opp. meerv. functiegebruik	200	-	300	
Bermgras	468	?	468	468	-	468	-	-	-geen	468	-	-	
Stro (granen)	708	103100	?	-	1.500	-	1.500	-	-conc. met veevoeder	708	-	350	
Koolzaadstro	15	9400	?	-	150	-	150	-	-conc. met veevoeder	15	-	15	
Hennep en vlas, vezels en kern	5	358	?	5	24	-	-	-	-conc. met veevoeder	5	-	50	
Hooi van graszaden	138	0	?	-	-	-	-	-	-conc. met veevoeder	138	-	100	
Pluinveemest	2.461	27549	2.500	1.500	-	2.500	-	-	-geen	2.500	-	-	
Rundermest en varkensmest	74.000	1370000	?	15.000	-	-	-	-	-geen mestoverschot meer	74.000	-	-	
RWZI slib	1.400	0	1.604	630	-	1.604	-	-	-geen	1.604	802	1.604	
Swill	216	0	216	-	-	146	-	-	-inzamellogistiek	216	-	146	
Voedings- en genotmiddelenind.	9.564	386000	9.564	1.534	-	1.500	-	-	-conc. met veevoeder	9.564	600	3.500	
Dierlijk afval	1.535	0	1.535	1.486	-	1.300	-	-	-	1.535	600	1.300	
Overig VGI	8.029	0	8.029	48	-	200	-	-	-	8.029	-	2.200	
Gesch. ingez. GFT	1.569	0	1.874	100	-	-	-	-	-stand technologie, Lansink	1.874	-	3.280	
Gesch. ingez. oud papier en karton	2.020	0	2.587	-	-	2.100	-	-	-ladder van Lansink	3.100	-	-	
Gesch. ingez. kunststoffen	171	0	833	-	-	600	-	-	-ladder van Lansink	1.000	-	-	
Gesch. ingez. textiel	67	0	231	15	-	100	-	-	-ladder van Lansink	400	-	50	
Gesch. ingez. oud en bewerkt hout	464	0	1.005	400	-	1.000	-	-	-ladder van Lansink	1.000	-	-	
Gebruikte autobanden	70	0	103	27	-	103	-	-	-geen	103	52	-	
Restfractie van huishoudelijk afval	3.495	0	4.660	3.495	-	4.665	-	-	-geen	4.352	3.770	3.271	
GFT	1.077	0	2.031	1.077	-	2.344	-	-	-	2.031	1.591	853	
papier	1.223	0	1.915	1.223	-	1.484	-	-	-	1.484	1.624	1.568	
Hout	78	0	10	78	-	10	-	-	-	10	18	23	
Kunststoffen	386	0	72	386	-	44	-	-	-	44	80	44	
textiel, tapijt, matten	123	0	93	123	-	29	-	-	-	29	81	29	
overig brandbaar	175	0	-	175	-	216	-	-	-	216	108	216	
inert, bijzonder afval en KCA	433	0	537	433	-	537	-	-	-	537	269	537	
Restfractie van grof huish. Afval	643	0	729	643	-	647	-	-	-geen (alles)	636	724	817	
GFT	68	0	70	68	-	81	-	-	-	70	55	29	
Papier	28	0	33	28	-	26	-	-	-	26	28	27	
Hout	188	0	173	188	-	175	-	-	-	175	308	395	
Kunststoffen	82	0	145	82	-	89	-	-	-	89	161	89	
textiel, tapijt, matten	47	0	49	47	-	15	-	-	-	15	42	15	
overig brandbaar	14	0	30	14	-	30	-	-	-	30	15	30	
inert, bijzonder afval en KCA	216	0	230	216	-	230	-	-	-	230	115	230	
Restfractie van bouw- en sloofafval	1.275	0	1.269	1.275	-	1.243	-	-	-geen	1.243	861	1.242	
Papier	38	0	15	38	-	12	-	-	-	12	13	12	
Hout	210	21998	142	210	-	144	-	-	-	144	253	324	
Kunststoffen	76	0	65	76	-	40	-	-	-	40	72	40	
overig brandbaar	52	0	65	52	-	65	-	-	-	65	33	65	
inert, bijzonder afval en KCA	899	0	982	899	-	982	-	-	-	982	491	982	
Restfractie van industrieel afval	2.079	0	1.127	2.079	-	1.108	-	-	-geen	1.108	689	1.163	
GFT	6	0	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	
Papier	390	0	87	390	-	67	-	-	-	67	74	71	
Hout	150	0	40	150	-	41	-	-	-	41	71	91	
Kunststoffen	101	0	34	101	-	21	-	-	-	21	38	21	
textiel, tapijt, matten	60	0	23	60	-	7	-	-	-	7	20	7	
overig brandbaar	33	0	12	33	-	41	-	-	-	41	21	41	
inert, bijzonder afval en KCA	1.340	0	931	1.340	-	931	-	-	-	931	466	931	
Restfractie van kwd-afval	1.949	0	1.163	1.949	-	1.073	-	-	-geen	1.023	899	880	
GFT	626	0	324	626	-	374	-	-	-	324	254	136	
Papier	563	0	230	563	-	178	-	-	-	178	195	188	
Hout	77	0	28	77	-	28	-	-	-	28	50	64	
Kunststoffen	216	0	120	216	-	74	-	-	-	74	133	74	
textiel, tapijt, matten	73	0	82	73	-	26	-	-	-	26	71	26	
overig brandbaar	80	0	91	80	-	107	-	-	-	107	54	107	
inert, bijzonder afval en KCA	314	0	285	314	-	285	-	-	-	285	143	285	
Shredderafval	177	0	143	177	-	143	-	-	-geen	143	-	143	
Reinigingsdienstenafval	1.038	0	1.144	41	-	65	-	-	-geen slib, veeg- en plantsoenafval	65	-	-	
Totaal (kton nat)	107.293	1.998.907	>31.513	30.136	1.824	20.907	2.200	350	-	107.557	8.821	18.286	
Totaal (kton droog)	24.862	394.974	>17.664	11.499	1.549	13.879	1.748	285	-	24.865	6.009	10.533	
Biomassa (PJ), excl. natte mest	130	4.135	>102	34	25	87	28	5	-	146	7	47	
Kunststoffen (PJ)	6	-	29	-	-	21	-	-	-	34	-	-	
Gemengde oorsprong (PJ)	86	-	87	82	-	56	-	-	-	55	61	55	
Totaal (PJ)	222	4.135	>218	116	25	164	28	5	-	235	68	102	

BIJLAGE B KOSTEN EN RENDEMENTEN VAN DE CONVERSIETECHNOLOGIEËN

E = elektriciteitslevering; - rendement is gebaseerd op energie-inhoud van aangegeven output t.o.v. stookwaarde voeding, tenzij anders aangegeven		Gebruikte informatie- bronnen ¹	Output	Investeringskosten	Bediening en onderhoudskosten per jaar (zie toelichting einde tabel)	Kosten- daling	Rendement- ontwikkeling ²	
				2000 ³	2000	2000-2020	2000 ³	2020
		indicatie schaalgrootte						
CFB-vergassing - gasmotor,	3 MW _e	literatuur	E	7500 kf/MW _e	6.5 % van investering	-25 %	27 % (+34%)	30 % (+31%)
CFB-vergassing-STEG	30 MW _e	literatuur	E	6000 kf/MW _e	6 % van investering	-10 %	38 %	42 %
CFB-vergassing- STEG,	150 MW _e	literatuur	E	4300 kf/MW _e	5 % van investering	- 10 %	43 %	46 %
BFB-vergassing-turbine met/zonder warmtelevering	10 MW _e	literatuur	E	6500 kf/MW _e	personeel 9 pers. bij 10 MW _e ; 3 % <i>onderhoud</i>	- 20 %	27 %/ 22% (+34%)	30 % 26 % (+31%)
FB-gasmotor	1 MW _e	initiatief, literatuur	E	4500 kf/MW _e ⁴	personeel 1,8 pers; 3 % <i>onderhoud</i> .	- 25 %	20 % (+ 30 %)	23 % (+30%)
Verbranding, wervelbed, biomassa	25 MW _e	initiatief	E	1050 kf/MW _{th}	4 % van investering incl. personeel	- 10%	30 %	30 %
Verbranding, roosteroven, afval	40 MW _e	literatuur	E	5000 kf/MW _{th}	4 % van investering incl. personeel	+ 20 %	22 %	30 %
Flash pyrolyse (tbv meestoken)	20 MW _{th}	literatuur/initiatief	pyrolyse- olie	750 kf/MW _{th}	Personeel 8 pers.; 3 % <i>onderhoud</i> .	- 10 %	75 %	75 %
pyrolyse-bijstook kolen schoon/vuil	100 MW _{th}	initiatief	E	2800 kf/MW _e / 4500 kf/MW _e	6 % investering, personeel 25 pers.	- 10 %	35 %/ 31 %	35 % 31 %
Pyrolyse gasmotor/ stoomturbine	8 MW _e	literatuur, initiatief	E	10000 kf/MW _e	7.5 % van investering incl. personeel	- 20 %	31 % 27 %(+28 %)	34 % 30 % (+26%)
Pyrolyse STEG	30 MW _e	literatuur, initiatief	E	8000 kf/MW _e	7,5 % van investering incl. personeel	- 15 %	36 %	39 %
HTU	130 kton ds/jaar	literatuur, initiatief	biocrude	500 f/ton ds/a ⁵	6 % van investering	- 30 %	80-87 ⁶ %	85 - 87 %
Natte vergisting (mest)	30 kW _e /boerderij	initiatief, literatuur	E	11.000/ kW _e	6 % <i>personeel en onderhoud</i> .	- 10%	22 kWh _e /ton	22 kWh _e /ton
Droge vergisting (GFT, ONF) Thermofiele vergisting (ONF)	40.000 ton/jaar 90.000 ton/jaar	literatuur, initiatief literatuur, initiatief	E	GFT: 600 f/ton/a ONF 550 f/ton/a excl. E-gedeelte	GFT: 4,5 man bediening, 2 % onderhoud; ONF 145 f/ton totaal	- 10 %	100 kWh _e /ton	100 kWh _e /ton
Directe meestook in kolencentrale	120 MW _e (= 20 % meestook)	literatuur	E	65 kf/MW _e	6 % van investering	-	39,5 %	39,5 %
Indirecte meestook in kolencentrale	120 MW _e (= 20 % meestook)	literatuur	E	855 kf/MW _e	10 % van investering	-	38 %	38,0 %

E = elektriciteitslevering; - rendement is gebaseerd op energie-inhoud van aangegeven output t.o.v. stookwaarde voeding, tenzij anders aangegeven		Gebruikte informatie- bronnen ¹	Output	Investeringskosten	Bediening en onderhoudskosten per jaar (zie toelichting einde tabel)	Kosten- daling	Rendement- ontwikkeling ²	
				2000 ³	2000	2000-2020	2000 ³	2020
Bijstook in kolencentrale via vergasser: schoon vuil	120 MW _e (= 20 % bijstook)	literatuur literatuur	E E	810 kf/MW _e 2000 kf/MW _e	6 % van investering 6 % van investering	- 10 % - 10 %	38 % 35 %	38 % 35 %
CFB bijstook in aardgas-STEg	30 MW _e (= 10 % bijstook)	literatuur	E	2250 kf/MW _e	6 % van investering	- 10 %	42,5% %	45 %
Bijstook in KV/STEg	25 MW _e (= 10 % bijstook)	literatuur	E	1300 kf/MW _e	6 % van investering	- 20 %	41 %	41 %
Directe meestook in KV/STEg	10% meestook	literatuur	E	105 kf/MW _e	6% van investering	-	42,5%	42,5%
Stoomzijdige integratie kolen/gas	20 MWe (= 3,5 %)	literatuur	E	2050 kf/MW _e	3 % van investering	-	38,5 %	38,5 %
Kleinschalige verbranding	0,5 - 1 MW _{th}	literatuur initiatief	warmte	1000 kf /MW _{th} (+20 % bij hogere emissie-eisen)	6 % van investering	-10 %	80 %	80 %

¹ De aanduiding ‘literatuur’ betekent dat de informatie op literatuurgegevens gebaseerd is. Voor nadere informatie zie de (nog onvolledige) bijlagen bij het rapport. De aanduiding ‘initiatief’ betekent dat er contact is geweest met initiatiefnemers betreffende de technologie en de informatie veelal op offertes van leveranciers is gebaseerd.

² Bij wk-toepassing worden tussen haakjes rendementen voor warmtelevering gegeven met daarvoor het bijbehorende elektrisch rendement

³ Of op het tijdstip dat de technologie operationeel is.

⁴ Excl. bouwkundige kosten. Waar investeringen voor gebouwen etc niet in de investeringscijfers begrepen zijn, wordt hiervoor 35 % opslag op de investeringen gehanteerd.

⁵ Productiekosten biocrude. Dit getal is gebaseerd op een eerste project met 15 % additioneel onvoorzien boven op gebruikelijke percentages. Op latere installaties kan deze vervallen. Daarenboven is nog 15 % kostendaling voorzien door leereffecten en standaardisatie.

⁶ Het eerstgenoemde rendement geldt voor stand-alone toepassing van het HTU-proces; het tweede voor geïntegreerde toepassing met de elektriciteitsopwekking. In het laatste geval neemt het aantal draaiuren waarschijnlijk af zodra het eerstgenoemde rendement is gebruikt.

Voor de bij- meestookopties is het overall rendement berekend uitgaande van een thermisch rendement van de biomassatechnologie (vergassen, pyrolyse, verbranden met stoomzijdige integratie) zoals berekend op grond van een thermodynamische systeemstudie. Dit resulteert in voor de praktijk hoge waarden.

Betreffende de *operationele kosten* is de volgende benadering gekozen: waar gedetailleerde informatie beschikbaar was, is deze informatie gebruikt; voor onderhoudskosten die niet bekend zijn, wordt uitgegaan van een percentage gerelateerd aan de investering. Hiervoor wordt in de praktijk veelal 2 tot 4 % gebruikt. 2 % voor eenvoudiger installaties met gas - en vloeistofhandeling tot 4 % voor complexere installaties met vaste stof handeling. De hier besproken installaties zijn in het algemeen een mengvorm van deze twee typen installaties. Voor onderhoud en bijkomende kosten is daarom 3 % gehanteerd.

- Waar alleen personele kosten beschikbaar waren, is deze opgave gebruikt met een toeslag van 3 %/a voor onderhoudskosten.
- Indien geen personele kosten zijn aangegeven wordt hiervoor een percentage van 3 % van de investering voorgesteld.
- Waar deze forfaitaire percentages gebruikt zijn, worden ze cursief aangegeven in de tabel.

Om op basis van de kosten van de investering, de operationele kosten en de kosten van de voeding de kosten per eenheid geleverde energie te berekenen is het van belang dat het aantal uren te kennen dat de installatie in bedrijf is en met name het aantal *vollasturen*. Het type installaties dat hier beschreven wordt vereist in het algemeen een volcontinue operatie. Het percentage vollasturen is daarbij 1) in hoge mate afhankelijk van de ervaring die met het proces is opgedaan en de maatregelen die bij de bouw geïmplementeerd worden om verlies van bedrijfsuren te beperken en 2) afhankelijk van de inzet voor een optimale elektriciteitsproductie. Het laatste speelt bijvoorbeeld een belangrijke rol bij kolencentrales die 6000 vollasturen per jaar werken en decentrale installaties die ca. 4600 uur per jaar draaien. Van een volwassen technologie mag verwacht worden dat de beschikbaarheid tot ca. 90 % of ca. 7800 uur per jaar kan oplopen, bijvoorbeeld zoals het geval is bij een AVI. [De hiervoor genoemde vollasturen hebben overigens betrekking op de afvalverbranding. Kijkt men naar de feitelijke energielevering dan komt de netto-energieproductie overeen met 6500 vollasturen per jaar.] Voor kleinschaliger installaties met minder professionele bediening (mestvergisting, FB, kleinschalige verbranding) zal dit aantal uren geringer zijn. Voor deze studie wordt aangenomen:

- Plants die brandstof produceren voor meestoken (pyrolyse, HTU) hebben een beschikbaarheid van 90 % (ca. 7800 uur per jaar).
- Grootschalige plants (150 MW_e vergasser), gascentrales en plants die gekoppeld zijn aan een kolentrale (mee-, bijstoken, stoomzijdige integratie) draaien 6000 uur.
- Kleinere installaties (1-30 MW_e) hebben 5000 vollasturen.
- Voor kleinschalige verbrandingsinstallaties is het aantal nuttige vollasturen 2000.

Aanvullende rookgasreinigingseisen ten op zichte van de NER worden door de overheid overwogen voor installaties die biomassa verwerken. Op grond van (CE, 1999) is aangenomen dat dit geen significante kostenstijging tot gevolg zal hebben, met uitzondering van de investeringskosten in kleinschalige verbrandingsinstallaties.

BIJLAGE C KOSTEN EN RENDEMENTEN VAN VOORBEWERKINGSTECHNOLOGIEËN

Veel biomassa- en afvalstromen moeten een voorbereiding ondergaan voordat zij geschikt zijn om aan één van de beschreven conversietechnologieën verwerkt te worden. Voor de kosten en energiebehoefte van deze voorbereidingsprocessen zijn richtgetallen gebruikt. Omdat de werkelijke data natuurlijk afhankelijk zijn van de feitelijke uitvoering (techniek, schaal) van een dergelijke voorbereiding zijn deze getallen slechts indicatief.

De volgende data worden aangehouden:

	Kosten (incl energie)	Energieverbruik	Bron
• hakselen, chippen, shredderen	<i>f</i> 20,-/ton input	15 kWh/ton	[2]
• malen	<i>f</i> 40,-/ton input	25 kWh/ton	[5]
• verpoederen	<i>f</i> 100,-/ton input	40 kWh/ton	[2]
• scheiden door windziften, zeven	<i>f</i> 30,-/ton input	10 kWh/ton	[5]
• pelleteren, briketteren	<i>f</i> 80,-/ton input	15 kWh/ton	[2,5]
• fysisch ontwateren (tot 25 % d.s)	<i>f</i> 10,-/ton input	5 MJ _e /ton input	[4]
• drogen (hout van 50 naar 15 % ds)	<i>f</i> 22,-/ton input		[1]
• thermisch drogen (25 % naar 85 % ds:mest, slib)	<i>f</i> 100,-/ton waterverdamping;	3 GJ _{th} /ton waterverdamping	[4]
• productie RDF (10 % vocht) uit huishoudelijk afval, opbrengst 50 % van HHA tbv CFB-vergassing	<i>f</i> 60,-/ton input	15 kWh/ton input +150 MJ _{th} /ton input	[3]
• voorbehandeling RDF ⁷ uit HHA voor meestoken (pelleteren, drogen, malen)	<i>f</i> 110,-/ton input	100 kWh/ton +700 MJ _{th} /ton	private communication
• productie brandstof pellets uit kwd voor wervelbedverbranding	<i>f</i> 120,-/ton brandstof	65 kWh/ton +500 MJ _{th} /ton	private communication

[1] Vooronderzoek naar de Europese stand der techniek op het gebied van CO₂-neutrale gasvormige en vloeibare energiedragers gemaakt van biomassa. Geschreven in opdracht van Novem door BTG, 1999.

[2] Cursus Energie uit Biomassa (1998) BTG.

[3] Long term perspectives of biomass integrated gasification with combined cycle technology (1998) EWAB rapport 9840. Faaij et al.

[4] Energie efficiënt drogen en verwerken van slib en mest. Novem-rapport. (1998) KEA Consult, TNO-MEP

[5] Vergelijkende studie voor de thermische verwerking van huishoudelijk afval (1995) KEMA, EWAB-rapport.

⁷ Het betreft hier de productie van brandstof voor een kolencentrale uit de papier- en plasticfractie die kan worden afgescheiden uit huishoudelijk afval (zogenaamd grijs huisvuil).

BIJLAGE D DE GEVOLGEN VAN HUIDIGE INITIATIEVEN VOOR DE BESCHIKBAARHEID VAN BIOMASSA

In taak 1 van dit project is een overzicht gegeven van de productie van afval en biomassastromen en het huidige gebruik voor energieopwekking. Bij het construeren van de marsroutes moet echter ook rekening worden gehouden met projecten die op dit moment in aanbouw zijn of in voorbereiding. Voor dit overzicht is informatie verzameld van bestaande en verwachte biomassaprojecten. Hiervoor is gebruik gemaakt van informatie van Novem, PWC, ECN, AOO en TNO.

Helaas is de informatie die via deze kanalen wordt gevonden niet eenduidig. Voor vrijwel alle projecten geldt dat er slagen om de arm worden gehouden vanwege onzekerheden in contracteerbaarheid van biomassa en afval, vergunningen en beschikbare technologie en de investeringsrisico's. Het niet meenemen van alle plannen die op stapel staan, zou een vertekend beeld geven van de biomassa beschikbaarheid. Immers op bijvoorbeeld de markt voor sloophout wordt al een groot deel van de markt ingenomen door initiatieven die al gepland zijn. Bovendien is het contracteren van de biomassa vaak één van de eerste stappen in het opzetten van een project. Deze bijlage geeft een overzicht van de initiatieven die in de marsroutes zijn meegenomen.

Er zijn projecten meegenomen die al bestaan, in aanbouw zijn of concreet in voorbereiding. Hierbij zijn de gegevens van Novem (projectlijst EWAB) als belangrijkste leidraad genomen aangezien deze lijst het meest compleet is. Voor wat betreft initiatieven in de afvalmarkt is ook veel gebruik gemaakt van extra aanvullingen van het AOO.

Voor het construeren van de marsroutes wordt per 5 jaar periode bekeken welke biomassa en afvalstromen beschikbaar zijn. Van alle projecten die nu lopen of in aanbouw zijn kan worden uitgegaan dat de biomassa/afval die erin wordt verwerkt niet meer beschikbaar is voor andere projecten. Deze projecten zijn onder te verdelen in 2 categorieën.

- De biomassa/afval wordt gebruikt en staat reeds in de rapportage van taak 1. Hier is al veel aandacht besteed aan het analyseren van de beschikbaarheid en inzet van biomassa in Nederland. Deze biomassa/afval is bezet met ingang van de periode 2000-2005.
- De biomassa/afval voor de in aanbouw zijnde initiatieven. Aangenomen wordt dat deze biomassa/afval ook al met ingang van de periode 2000-2005.

De derde groep betreft initiatieven die nog in de planning zitten.

- Geplande initiatieven, die grote waarschijnlijkheid hebben om na 2005 te worden ingezet (bezet met ingang van periode 2005-2010).

Er zijn een aantal initiatieven die bepaalde stromen niet energetisch verwerken. Dit moet wel meegenomen worden voor de beschikbaarheid, immers die neemt af, maar niet meegeteld worden voor de energie-opbrengst. Dit betreft export en initiatieven die gemengde afvalstromen sorteren. De trend van meer gescheiden afvalstromen en minder ongesorteerd afval is overigens al onderdeel van scenario 2. De initiatieven zoals de huisvuilverwerking van VAGRON hoeven daarom niet extra worden meegenomen.

Op dit moment is er een overschot aan brandbaar afval. Toch is de beschikbaarheid van deze stromen beperkt. De afvalstromen mogen momenten enkel door AVI's worden verwerkt en de uitbreiding van de AVI-capaciteit in Nederland is onderwerp van discussie. Bij de AVI's zelf zijn veel plannen, binnen deze studie zijn die plannen meegenomen waarvoor reeds een startnotitie is uitgebracht. Het gaat hierbij om circa 1000 kton aan afval. Aangezien niet precies aan te geven is welk afval wordt verwerkt is deze capaciteit verdeeld over de grootste resterende stro-

men. Hierbij is relatief weinig industrieel afval meegenomen omdat dit voor een groot deel inert is.

In onderstaande tabel staan alle stromen die zijn meegenomen weergegeven.

Tabel D.1 *Stromen voor zover op dit moment in gebruik, aanbouw als voorbereiding [stromen in kton]*

Stroom	Technologie	Taak 1	In aanbouw	Gepland	Toelichting
Korte omloop hout	Verbranding WKK			2	Nuon Lelystad Energieteelt
Bosbouwbijproducten	Verbranding voor elektriciteit	200			Cuijk,
Bosbouwbijproducten	Verbranding WKK			10	Nuon, Lelystad
Bosbouwbijproducten	Verbranding	50			Overige initiatieven taak 1
Schoon resthout	WKK	10			Schijndel
Schoon resthout	Kleinschalige verbranding	10			Ekoblok Almelo
Schoon resthout	Kleinschalige verbranding	10			Best, Counterman
Schoon resthout	Kleinschalige verbranding	10			Dronten, Komerco
Schoon resthout	Kleinschalige verbranding	110			Overige houtverwerkende industrie
Pluimveemest	Verbranding			300	Plannen DEP
Pluimveemest	Bijstook			70	EZH-bijstook
Pluimveemest	Verbranding			300	FybroNed, Apeldoorn
Varkens en Rundermest	Vergisting	1,3			Denekamp, Ecogas
RWZI-slib	Bijstook	630			Bijstook o.a. Hemweg., initiatieven uit taak 1
RWZI-slib	Bijstook			85	WATCO Roosendaal
RWZI-slib	Brandstof in cementoven			20	Bijstook ENCI Maastricht
VGI-afval	EZH bijstook		85		Diermeel, bijstook
VGI-afval	EPZ bijstook		24		Cacaodoppen
GFT	Vergisting	40			Tilburg
GFT	Vergisting	60			Lelystad, biocel 35 rest overige initiatieven taak 1.
Gescheiden ingezameld papier	Wervelbedverbranding			165	AVIRA Duiven
Gescheiden papier en kunststoffen	Brandstof bij grindproductie			195	Dusagrind
Kunststof afval industrie	Bijstook in ENCI			60	Bijstook ENCI Maastricht
Sloophout	Bijstook na vergassing	150			Amer 9 bijstook
Sloophout	Bijstook kolencentrale	50			EPON Nijmegen
Sloophout	Stand alone verbranding			70	Remu, Nieuwegein en Vathorst
Sloophout	Pyrolyse/vergassing			85	PEC/North Refinery, Delfzijl
Sloophout	Verbranding			10	Enerco Dordrecht
Voorbehandeld Sloophout	verbranding			50	Eneco Den Haag
HH rest afval	AVI's	2740			11 AVI's
Grof HH afval	AVI's	510			AVI's
Restfractie bouw- en sloopafval	AVI's	225			AVI's
Restfractie bouw- en sloopafval	Pyrolyse			30	North Refineries
Bedrijfafval	Verbranding		150		AVI Alkmaar
Bedrijfafval	Wervelbedoven			60	WATCO Roosendaal
Restfractie Industrieel afval	AVI's	595			AVI's
Restfractie KWD-afval	AVI's	1949			AVI's
Shredderafval				125	AVIRA Duiven
Restafval verschillende fracties	Uitbreiding AVI's			1000	AVR 200, AZN 250, AVIRA 200-400, plannen in procedure (startnotitie uitgebracht, gegevens AOO)

Tabel D.2 Niet energetische initiatieven

Schoon resthout	Export	25	Labee, Moerdijk
Schoon resthout	Export	45	Ekoblok, Almelo
Restfractie bouw- en sloopafval	Opwerking tot pellets	100	BTC Zoetermeer
Restfractie huishoudelijk afval	Verwerking huisvuil	230	Gecombineerde scheidings/ verwerkingsinstallatie. Levert weer nieuwe gescheiden afvalstromen op, dus in feite geen eindverwerking. (VAGRON)

Tabel D.3 Initiatieven die niet meegenomen zijn vanwege te grote onzekerheid.

Restafval verschillende fracties	Toekomstige uitbreiding AVI's	1500	Erg onzeker voorlopig niet meenemen (AVI-Amsterdam, WATCO, HVC)
VGI-afval, diermeel		200	AVIRA Duiven, nieuwe verwerking
RWZI-slib	Meestook	+/- 30?	Biomass, maasvlakte
GFT-reststromen	Meestook	??	Biomass, maasvlakte
Restfractie bouw/sloopafval	Export	700	BRBS Sorteren
Restfractie bouw/sloopafval	Export	50	Icopower
Papierslib (categorie??)	Bijstook	150	Amer 9

BIJLAGE E KRUISTABELLEN BASISPAD

(Voor toelichting zie Paragraaf 5.1)

2000-2005 NCW/investering	CFB-vergasser-gasmotor, 3 MW _e	CFB-vergasser-STEg, 30 MW _e	CFB-vergasser-STEg, 150 MW _e	Bijstook in KV/STEg	BFB-turbine, 10 MW _e	FB-gasmotor, 1 MW _e	Verbranding, AVI	Verbranding, wervelbed, 25 MW _e	Pyrolyse gasmotor- stoomturbine, 8 MW _e	Pyrolyse STEg, 30 MW _e	Flash pyrolyse voor meestook	HTU voor meestook	Natte vergisting	Droge vergisting	Indirecte meestook in kolencentrale	Bijstook na vergassing, sechone stromen	Bijstook na pyrolyse, sechone stromen	Bijstook in aardgas- STEg	Stoomzijdige integratie bij kolencentrale	Kleinschalige verbran- ding, 1 MW _{th}	Bijstook na vergassing, 'vuile' stromen	Stoomzijdige integratie bij gascentrale	Directe meestook in ko- lencentrale
Korte omloop hout																							
Bosbouw/fruitsector				2.5				0.3							4.5	5.1	0.4	0.8	1.7			1.1	
Schoon resthout (incl. bast), vers				3.7				0.8			0.6				5.6	7.9	1.1	1.4	2.3			1.7	
Miscantus/hooi van graszaden															1.0								
Bermgras	0.2			4.7	0.1			1.7			0.8				13.9	9.0	1.6	2.0	4.3			2.7	
Stro (granen)/koolzaadstro/Hennep etc.																							
Pluimveemest				2.7							0.9						1.1	1.4	2.0		1.5	1.4	4.9
Rundermest, kalvermest en varkensmest																							
RWZI slib	2.2			9.6			0.4		0.7		8.3							7.2	9.0		6.7	7.8	
V&G/Swill																							
Gescheiden ingezameld GFT	0.2			4.6	0.1			1.2										2.0	2.6		2.9	2.0	
Gescheiden ingezameld oud papier en karton	0.1			4.5				0.0			1.0						1.5	1.9	0.8		2.8	0.3	
Gescheiden ingezamelde kunststoffen				2.0							0.3						0.4	0.6	0.9		1.2	0.6	
Gescheiden ingezamelde textiel				2.1							0.7						0.4	0.6	0.9		1.2	0.7	
Gescheiden ingezameld oud en bewerkt hout				3.1							0.2				4.6		0.7	1.1	1.6		1.4	1.0	
Gebruikte autobanden																	0.1						
Restfractie van huishoudelijk afval (incl. inert en KCA)								0.4											1.3			1.0	48.3
Restfractie van grof huishoudelijk afval (incl. inert en KCA)																							
Restfractie van bouw- en sloopafval (incl. niet-gescheiden inert en KCA)																							
Restfractie van industrieel afval (incl. inert en KCA)																							
Restfractie van kantoor, winkel en dienstena- afval (incl. inert en KCA)								0.8											1.9			1.5	64.8
Shredderafval (incl. inert en KCA)																							
Import eerste tranche																		0.3					
Import tweede tranche																							

2005-2010 NCW/investering	CFB-vergasser-gasmo- tor, 3 MW _e	CFB-vergasser- STEG, 30 MW _e	CFB-vergasser- STEG, 150 MW _e	Bijstook in KV/STEG	BFB-turbine, 10 MW _e	FB-gasmotor, 1 MW _e	Verhanding, AVI	Verhanding, wervel- bed, 25 MW _e	Pyrolyse gasmotor- stoomturbine, 8 MW _e	Pyrolyse STEG, 30 MW _e	Flash pyrolyse voor meestook	HTU voor meestook	Natte vergisting	Droge vergisting	Indirecte meestook in kolencentrale	Bijstook na vergassing, schone stromen	Bijstook na pyrolyse, schone stromen	Bijstook in aardgas- STEG	Stoomzijdige integratie bij kolencentrale	Kleinschalige verbran- ding, 1 MW _{th}	Bijstook na vergassing, 'vuile' stromen	Stoomzijdige integratie bij gascentrale	Directe meestook in kolencentrale
Korte omloop hout																							
Bosbouw/fruitsector				2.7				0.3							4.4	5.2	0.4	0.9	1.6			1.2	
Schoon resthout (incl. bast), vers	0.0			3.9				0.8			0.4				5.5	8.1	1.1	1.6	2.3			1.7	
Miscantus/hooi van graszaden															0.9								
Bermgras	0.3			5.0	0.2			1.8			0.6				13.8	9.1	1.7	2.2	4.3			2.8	
Stro (granen)/koolzaadstro/Hennep etc.																							
Pluimveemest	0.0			2.9							0.7						1.1	1.6	2.0		1.5	1.5	3.9
Rundermest, kalvermest en varkensmest																							
RWZI slib	2.4			10.1			0.3		0.8	1.0	7.6							7.4	8.9		6.9	7.8	
V&G/Swill																							
Gescheiden ingezameld GFT	0.3			4.9	0.2			1.2							4.6			2.1	2.6		3.0	2.0	
Gescheiden ingezameld oud papier en kar- ton	0.2			4.7				0.0			0.8						1.5	2.0	0.7		2.9	0.3	
Gescheiden ingezamelde kunststoffen				3.1				0.0			0.5						0.8	1.1	1.4		1.8	1.2	
Gescheiden ingezamelde textiel				3.2							1.0						0.8	1.1	1.5		1.9	1.2	
Gescheiden ingezameld oud en bewerkt hout				3.3							0.1				4.6		0.8	1.2	1.6		1.4	1.1	
Gebruikte autobanden											0.0						0.4						
Restfractie van huishoudelijk afval (incl. inert en KCA)								0.9											2.0			1.6	62.5
Restfractie van grof huishoudelijk afval (incl. inert en KCA)																							
Restfractie van bouw- en sloopafval (incl. niet-gescheiden inert en KCA)							0.0																
Restfractie van industrieel afval (incl. inert en KCA)							0.0																
Restfractie van kantoor, winkel en diensten- afval (incl. inert en KCA)								1.4											2.7			2.3	84.0
Shredderafval (incl. inert en KCA)																							
Import eerste tranche																		0.4					
Import tweede tranche																							

2010-2015 NCW/investering	CFB-vergasser-gasmo- tor, 3 MW _e	CFB-vergasser- STEG, 30 MW _e	CFB-vergasser- STEG, 150 MW _e	Bijstook in KV/STEG	BFB-turbine, 10 MW _e	FB-gasmotor, 1 MW _e	Verhanding, AVI	Verhanding, wervel- bed, 25 MW _e	Pyrolyse gasmotor- stoomturbine, 8 MW _e	Pyrolyse STEG, 30 MW _e	Flash pyrolyse voor meestook	HTU voor meestook	Natte vergisting	Droge vergisting	Indirecte meestook in kolencentrale	Bijstook na vergassing, schone stromen	Bijstook na pyrolyse, schone stromen	Bijstook in aardgas- STEG	Stoomzijdige integratie bij kolencentrale	Kleinschalige verbran- ding, 1 MW _{th}	Bijstook na vergassing, 'vuile' stromen	Stoomzijdige integratie bij gascentrale	Directe meestook in kolencentrale	
Korte omloop hout																								
Bosbouw/fruitsector			0.1	2.9				0.4				1.1			4.5	5.5	0.5	1.0	1.7			1.2		
Schoon resthout (incl. bast), vers	0.1		0.4	4.3				0.9			0.4	1.5			5.7	8.5	1.2	1.7	2.3			1.8		
Miscantus/hooi van graszaden															0.9									
Bermgras	0.4	0.1	0.7	5.5	0.3			1.9			0.5	4.0			14.2	9.7	1.8	2.4	4.4			2.9		
Stro (granen)/koolzaadstro/Hennep etc.																								
Pluimveemest	0.1		0.4	3.2							0.6	2.2					1.2	1.8	2.0			1.6	1.6	3.4
Rundermest, kalvermest en varkensmest																								
RWZI slib	2.7	1.9	3.0	11.1			0.3		0.9	1.1	7.3	15.4						7.8	9.2		7.3	8.1		
V&G/Swill																								
Gescheiden ingezameld GFT	0.4	0.0	0.7	5.4	0.2			1.3				4.9			4.7			2.3	2.7		3.2	2.1		
Gescheiden ingezameld oud papier en kar- ton	0.3	0.0	0.6	5.2				0.1			0.7						1.7	2.2	0.8		3.1	0.4		
Gescheiden ingezamelde kunststoffen				3.4				0.1			0.4						0.9	1.2	1.5		2.0	1.2		
Gescheiden ingezamelde textiel				3.5							0.9						0.9	1.3	1.5		2.0	1.3		
Gescheiden ingezameld oud en bewerkt hout			0.3	3.6											4.7		0.9	1.4	1.6		1.6	1.2		
Gebruikte autobanden																	0.5							
Restfractie van huishoudelijk afval (incl. inert en KCA)								1.0											2.0			1.7	63.5	
Restfractie van grof huishoudelijk afval (incl. inert en KCA)																								
Restfractie van bouw- en sloopafval (incl. niet-gescheiden inert en KCA)																								
Restfractie van industrieel afval (incl. inert en KCA)							0.0																	
Restfractie van kantoor, winkel en diensten- afval (incl. inert en KCA)								1.5											2.8			2.4	85.6	
Shredderafval (incl. inert en KCA)																		0.6						
Import eerste tranche								0.0																
Import tweede tranche																								

2015-2020 NCW/investering	CFB-vergasser-gasmo- tor, 3 MW _e	CFB-vergasser-STEg, 30 MW _e	CFB-vergasser-STEg, 150 MW _e	Bijstook in KV/STEG	BFB-turbine, 10 MW _e	FB-gasmotor, 1 MW _e	Verbranding, AVI	Verbranding, wervel- bed, 25 MW _e	Pyrolyse gasmotor- stoomturbine, 8 MW _e	Pyrolyse STEg, 30 MW _e	Flash pyrolyse voor meestook	HTU voor meestook	Natte vergisting	Droge vergisting	Indirecte meestook in kolencentrale	Bijstook na vergassing, schone stromen	Bijstook na pyrolyse, schone stromen	Bijstook in aardgas- STEG	Stoomzijdige integratie bij kolencentrale	Kleinschalige verbran- ding, 1 MW _{th}	Bijstook na vergassing, 'vuile' stromen	Stoomzijdige integratie bij gascentrale	Directe meestook in kolencentrale
Korte omloop hout																							
Bosbouw/fruitsector			0.3	3.2				0.4			1.5				4.5	5.6	0.6	1.1	1.7			1.2	
Schoon resthout (incl. bast), vers	0.2		0.6	4.6	0.1			1.0			0.3	2.0			5.7	8.8	1.3	1.8	2.3			1.8	
Miscantus/hooi van graszaden															0.9								
Bermgras	0.5	0.2	0.8	5.9	0.4			2.0			0.4	5.0			14.2	9.9	1.9	2.5	4.4			2.9	
Stro (granen)/koolzaadstro/Hennep etc.																							
Pluimveemest	0.2	0.0	0.6	3.5							0.5	2.9					1.3	1.9	2.0		1.7	1.6	3.2
Rundermest, kalvermest en varkensmest																							
RWZI slib	2.9	2.0	3.2	11.8			0.3		1.0	1.2	6.7	18.4						8.0	9.2		7.5	8.1	
V&G/Swill																							
Gescheiden ingezameld GFT	0.4	0.2	0.8	5.7	0.3			1.4				6.0			4.7			2.4	2.7		3.3	2.1	
Gescheiden ingezameld oud papier en kar- ton	0.4	0.2	0.8	5.5				0.1			0.6						1.7	2.3	0.8		3.2	0.4	
Gescheiden ingezamelde kunststoffen				3.7				0.1			0.3						0.9	1.3	1.5		2.0	1.2	
Gescheiden ingezamelde textiel				3.7							0.7						1.0	1.3	1.5		2.1	1.3	
Gescheiden ingezameld oud en bewerkt hout	0.1		0.4	3.9											4.7		0.9	1.5	1.6		1.6	1.2	
Gebruikte autobanden																	0.5						
Restfractie van huishoudelijk afval (incl. inert en KCA)								1.1											2.0			1.7	62.9
Restfractie van grof huishoudelijk afval (incl. inert en KCA)																							
Restfractie van bouw- en sloopafval (incl. niet-gescheiden inert en KCA)																							
Restfractie van industrieel afval (incl. inert en KCA)																							
Restfractie van kantoor, winkel en diensten- afval (incl. inert en KCA)								1.6											2.8			2.4	85.0
Shredderafval (incl. inert en KCA)																							
Import eerste tranche			0.1					0.0										0.7					
Import tweede tranche																							

2000-2005 Totaalscore	CFB-vergasser-gasmotor, 3 MW _e	CFB-vergasser-STEG, 30 MW _e	CFB-vergasser-STEG, 150 MW _e	Bijstook in KV/STEG	BFB-turbine, 10 MW _e	FB-gasmotor, 1 MW _e	Verbranding, AVI	Verbranding, wervelbed, 25 MW _e	Pyrolyse gasmotor-stoomturbine, 8 MW _e	Pyrolyse STEG, 30 MW _e	Flash pyrolyse voor meestook	HTU voor meestook	Natte vergisting	Droge vergisting	Indirecte meestook in kolencentrale	Bijstook na vergassing, schone stromen	Bijstook na pyrolyse, schone stromen	Bijstook in aardgas-STEG	Stoomzijdige integratie bij kolencentrale	Kleinschalige verbranding, 1MW _{th}	Bijstook na vergassing, 'vuile' stromen	Stoomzijdige integratie bij gascentrale	Directe meestook in kolencentrale
Korte omloop hout																							
Bosbouw/fruitsector			3.2												3.0	5.8							
Schoon resthout (incl. bast), vers			4.8												3.3	9.0							
Miscantus/hooi van graszaden															0.7								
Bermgras															9.9	10.9							
Stro (granen)/koolzaadstro/Hennep etc.																							
Pluimveemest			3.4																				6.2
Rundermest, kalvermest en varkensmest																							
RWZI slib			11.0							8.3								7.2	11.7		8.1	10.5	
V&G/Swill																							
Gescheiden ingezameld GFT			5.3												3.4						3.6		
Gescheiden ingezameld oud papier en karton			5.1																		3.4		
Gescheiden ingezamelde kunststoffen			2.3																		1.5		
Gescheiden ingezamelde textiel			2.4																		1.5		
Gescheiden ingezameld oud en bewerkt hout			3.8												3.3								
Gebruikte autobanden																	0.1						
Restfractie van huishoudelijk afval (incl. inert en KCA)																							62.2
Restfractie van grof huishoudelijk afval (incl. inert en KCA)																							
Restfractie van bouw- en sloopafval (incl. niet-gescheiden inert en KCA)																							
Restfractie van industrieel afval (incl. inert en KCA)																							
Restfractie van kantoor, winkel en dienstenafval (incl. inert en KCA)																							83.3
Shredderafval (incl. inert en KCA)																							
Import eerste tranche																		0.3					
Import tweede tranche																							

2005-2010 Totaalscore	Directe meestook in kolencentrale	Stoomzijdige integratie bij gascentrale	Bijstook na vergassing, 'vuile' stromen	Klenschalige verbranding, 1 MW _{th}	Stoomzijdige integratie bij kolencentrale	Bijstook in aardgas-STEG	Bijstook na pyrolyse, schone stromen	Bijstook na vergassing, schone stromen	Indirecte meestook in kolencentrale	Droge vergisting	Natte vergisting	HTU voor meestook	Flash pyrolyse voor meestook	Pyrolyse STEG, 30 MW _e	Pyrolyse gasmotor-stoomturbine, 8 MW _e	Verbranding, werkelbed, 25 MW _e	Verbranding, A VI	FB-gasmotor, 1 MW _e	BFB-turbine, 10 MW _e	Bijstook in KV/STEG	CFB-vergasser-STEG, 150 MW _e	CFB-vergasser-STEG, 30 MW _e	CFB-vergasser-gasmotor, 3 MW _e	
Korte omloop hout																								
Bosbouw/fruitsector		3.5							3.1	5.8														
Schoon resthout (incl. bast), vers		5.2							3.6	9.1														
Miscantus/hooi van graszaden									0.7															
Bermgras									10.5	10.8														
Stro (granen)/koolzaadstro/Hennep etc.																								
Pluimveemest		3.5																						4.9
Rundermest, kalvermest en varkensmest																								
RWZI slib		11.8											8.0											
V&G/Swill																								
Gescheiden ingezameld GFT		5.7							3.4															
Gescheiden ingezameld oud papier en karton		5.5																						
Gescheiden ingezamelde kunststoffen		3.6																						
Gescheiden ingezamelde textiel		3.7																						
Gescheiden ingezameld oud en bewerkt hout		4.0							3.5															
Gebruikte autobanden																								0.4
Restfractie van huishoudelijk afval (incl. inert en KCA)																								77.9
Restfractie van grof huishoudelijk afval (incl. inert en KCA)																								
Restfractie van bouw- en sloopafval (incl. niet-gescheiden inert en KCA)																	0.0							
Restfractie van industrieel afval (incl. inert en KCA)																	0.0							
Restfractie van kantoor, winkel en dienstenafval (incl. inert en KCA)																								104.6
Shredderafval (incl. inert en KCA)																								
Import eerste tranche																								
Import tweede tranche																								

2010-2015 Totaalscore	CFB-vergasser- gasmotor, 3 MW _e	CFB-vergasser- STEG, 30 MW _e	CFB-vergasser- STEG, 150 MW _e	CFB-vergasser- STEG, 150 MW _e	Bijstook in KV/STEG	BFB-turbine, 10 MW _e	FB-gasmotor, 1 MW _e	Verbranding, AVI	Verbranding, wervel- bed, 25 MW _e	Verbranding, stoomturbine, 8 MW _e	Pyrolyse gasmotor- stoomturbine, 8 MW _e	Pyrolyse STEG, 30 MW _e	Flash pyrolyse voor meestook	HTU voor meestook	Natte vergisting	Droge vergisting	Indirecte meestook in kolencentrale	Bijstook na vergas- sing, schone stromen	Bijstook na pyrolyse, schone stromen	Bijstook in aardgas- STEG	Stoomzijdige integra- tie bij kolencentrale	Kleinschalige ver- branding, 1 MW _{th}	Bijstook na vergas- sing, 'vuile' stromen	Sjoonzijdige integra- tie bij gascentrale	Directe meestook in kolencentrale		
Korte omloop hout																											
Bosbouw/fruitsector					4.0												3.4	6.0									
Schoon resthout (incl. bast), vers					5.9												4.0	9.3									
Miscantus/hooi van graszaden																	0.8										
Bermgras																	11.5	11.0									
Stro (granen)/koolzaadstro/Hennep etc.																											
Pluimveemest					3.9								3.2							1.8	2.7			2.0	2.2	4.0	
Rundermest, kalvermest en varkensmest																											
RWZI slib					14.0							8.7	19.8							7.8	12.1			8.8	11.0		
V&G/Swill																											
Gescheiden ingezameld GFT					6.4								6.4				3.7					3.7		3.7			
Gescheiden ingezameld oud papier en karton					6.2																			3.5			
Gescheiden ingezamelde kunststoffen					4.1																			2.3			
Gescheiden ingezamelde textiel					4.2																	2.2		2.4			
Gescheiden ingezameld oud en bewerkt hout					4.5												3.8										
Gebruikte autobanden																			0.5								
Restfractie van huishoudelijk afval (incl. inert en KCA)																										75.5	
Restfractie van grof huishoudelijk afval (incl. inert en KCA)																											
Restfractie van bouw- en sloopafval (incl. niet-gescheiden inert en KCA)																											
Restfractie van industrieel afval (incl. inert en KCA)								0.0																			
Restfractie van kantoor, winkel en dienstena- fval (incl. inert en KCA)																										101.9	
Shredderafval (incl. inert en KCA)																											
Import eerste tranche																											
Import tweede tranche																											

2015-2020 Totaalscore	CFB-vergasser-gasmotor, 3 MW _e	CFB-vergasser-STEIG, 30 MW _e	CFB-vergasser-STEIG, 150 MW _e	Bijstook in KV/STEIG	BFB-turbine, 10 MW _e	FB-gasmotor, 1 MW _e	Verbranding, A VI	Verbranding, wervelbed, 25 MW _e	Pyrolyse gasmotor-stoomturbine, 8 MW _e	Pyrolyse STEIG, 30 MW _e	Flash pyrolyse voor meestook	HTU voor meestook	Natte vergisting	Droge vergisting	Indirecte meestook in kolencentrale	Bijstook na vergassing, schone stromen	Bijstook na pyrolyse, schone stromen	Bijstook in aardgas-STEIG	Stoomzijdige integratie bij kolencentrale	Kleinschalige verbranding, 1 MW _{th}	Bijstook na vergassing, 'vuile' stromen	Stoomzijdige integratie bij gascentrale	Directe meestook in kolencentrale	
Korte omloop hout																								
Bosbouw/fruitsector			4.5												3.8	6.0								
Schoon resthout (incl. bast), vers			6.6												4.7	9.3								
Miscantus/hooi van graszaden															0.8	10.8								
Bermgras																								
Stro (granen)/koolzaadstro/Hennep etc.																								
Pluimveemest			4.3								4.3							1.9	2.4		1.9	2.0	3.6	
Rundermest, kalvermest en varkensmest																								
RWZI slib			16.0								25.7							8.0	11.3			10.2		
V&G/Swill																								
Gescheiden ingezameld GFT			7.1												4.0				3.3		3.6			
Gescheiden ingezameld oud papier en karton			6.8																		3.5			
Gescheiden ingezamelde kunststoffen			4.5																		2.3			
Gescheiden ingezamelde textiel			4.6																		2.3			
Gescheiden ingezameld oud en bewerkt hout			5.0												4.1									
Gebruikte autobanden																	0.6							
Restfractie van huishoudelijk afval (incl. inert en KCA)																								70.1
Restfractie van grof huishoudelijk afval (incl. inert en KCA)																								
Restfractie van bouw- en sloopafval (incl. niet-gescheiden inert en KCA)																								
Restfractie van industrieel afval (incl. inert en KCA)																								
Restfractie van kantoor, winkel en dienstenafval (incl. inert en KCA)																								94.7
Shredderafval (incl. inert en KCA)																								
Import eerste tranche																								
Import tweede tranche																								

2000-2005 Uitgespaarde fossiele brandstof, [PJ]	CFB-vergasser-gasmotor, 3 MW _e	CFB-vergasser-S-TEG, 30 MW _e	CFB-vergasser-S-TEG, 150 MW _e	Bijstook in KV/STEG	BFB-turbine, 10 MW _e	FB-gasmotor, 1 MW _e	Verbranding, A VI	Verbranding, wervelbed, 25 MW _e	Pyrolyse gasmotor- stoomturbine, 8 MW _e	Pyrolyse STEG, 30 MW _e	Flash pyrolyse voor meestook	HTU voor meestook	Natte vergisting	Droge vergisting	Indirecte meestook in kolencentrale	Bijstook na vergassing, schone stromen	Bijstook na pyrolyse, schone stromen	Bijstook in aardgas- STEG	Stoomzijdige integratie bij kolencentrale	Kleinschalige verbranding, 1MW _{th}	'vuile' stromen na vergassing,	Bijstook na pyrolyse, schone stromen	Stoomzijdige integratie bij kolencentrale	Directe meestook in kolencentrale	
Korte omloop hout																									
Bosbouw/fruitsector	4.0			5.0	3.7			3.4		3.9					5.0	5.0	4.6	4.1	5.1					3.7	
Schoon resthout (incl. bast), vers	4.9			6.2	4.6			4.2		4.8					6.1	6.2	5.7	5.0	6.2	5.8				4.5	
Miscantus/hooi van graszaden															0.0										
Bermgras	1.8			2.3	1.7			1.5		1.8					2.3	2.3	2.1	1.8	2.3					1.7	
Stro (granen)/koolzaadstro/Hennep etc.																									
Pluimveemest	7.5			9.2						7.5							8.7	7.7	9.5		8.5	7.0	9.3		
Rundermest, kalvermest en varkensmest																									
RWZI slib	0.7			0.8			0.4		0.7	0.7								0.7	0.9		0.7	0.6			
V&G/Swill																									
Gescheiden ingezameld GFT	0.2			0.3	0.2			0.2						0.2	0.3			0.2	0.3		0.3	0.2			
Gescheiden ingezameld oud papier en karton	0.0			0.0				0.0		0.0							0.0	0.0	0.0		0.0	0.0			
Gescheiden ingezamelde kunststoffen	0.0			0.0				0.0		0.0							0.0	0.0	0.0		0.0	0.0			
Gescheiden ingezamelde textiel	0.2			0.2	0.1					0.2							0.2	0.2	0.2		0.2	0.1			
Gescheiden ingezameld oud en bewerkt hout	4.6			5.8				3.9		4.6					5.8		5.4	4.7	5.9		5.4	4.3			
Gebruikte autobanden										0.4							0.5								
Restfractie van huishoudelijk afval (incl. inert en KCA)								21.4											31.9				23.3	30.5	
Restfractie van grof huishoudelijk afval (incl. inert en KCA)																									
Restfractie van bouw- en sloopafval (incl. niet-gescheiden inert en KCA)							3.2																		
Restfractie van industrieel afval (incl. inert en KCA)							5.1		8.1																
Restfractie van kantoor, winkel en dienstenaafval (incl. inert en KCA)								11.6											17.2				12.5	16.4	
Shredderafval (incl. inert en KCA)																									
Import eerste tranche								4.8											5.7						
Import tweede tranche																			38.0						
Totaal per technologie	23.8	0.0	0.0	29.8	10.3	0.0	8.8	51.0	8.8	0.0	23.8	0.0	0.0	0.2	19.5	13.5	27.2	68.1	79.5	5.8	15.0	58.0	56.1		

2005-2010 Uitgespaarde fossiele brandstof, [PJ]	CFB-vergasser-gasmotor, 3 MW _e	CFB-vergasser-STEg, 30 MW _e	CFB-vergasser-STEg, 150 MW _e	Bijstook in KV/STEG	BFB-turbine, 10 MW _e	FB-gasmotor, 1 MW _e	Verbranding, AVI	Verbranding, wervelbed, 25 MW _e	Pyrolyse gasmotor-stoomturbine, 8 MW _e	Pyrolyse STEG, 30 MW _e	Flash pyrolyse voor meestook	HTU voor meestook	Natte vergisting	Droge vergisting	Indirecte meestook in kolencentrale	Bijstook na vergassing, schone stromen	Bijstook na pyrolyse, schone stromen	Bijstook in aardgas-STEg	Schoonzijdige integratie bij kolencentrale	Kleinschalige verbranding, 'vuile' stromen	Bijstook na vergassing, 'vuile' stromen	Stoomzijdige integratie bij kolencentrale	Directe meestook in kolencentrale	Stoomzijdige integratie bij gascentrale	
Korte omloop hout																									
Bosbouw/fruitsector	5.6			7.1	5.3			4.7			5.6				7.0	7.1	6.5	5.8	7.2					5.2	
Schoon resthout (incl. bast), vers	6.3			7.9	5.9			5.2			6.2				7.9	7.9	7.3	6.5	8.0	7.3				5.8	
Miscantus/hooi van graszaden															0.6										
Bermgras	1.8			2.3	1.7			1.5	1.8	1.8					2.3	2.3	2.1	1.9	2.3					1.7	
Stro (granen)/koolzaadstro/Hennep etc.																									
Pluimveemest	8.8			10.8							8.7						10.1	9.1	11.1		9.9		8.1	10.8	
Rundermest, kalvermest en varkensmest																									
RWZI slib	0.9			1.1		0.6		0.9	0.9	0.9								1.0	1.2		1.0	0.9			
V&G/Swill																									
Gescheiden ingezameld GFT	0.2			0.2	0.2			0.2						0.1	0.2			0.2	0.2		0.2	0.2			
Gescheiden ingezameld oud papier en karton	3.9			4.9				3.2	3.8	3.8							4.5	4.0	4.9		4.5	3.6			
Gescheiden ingezamelde kunststoffen	3.9			4.9	3.6			3.2		3.8							4.5	4.0	4.9		4.5	3.6			
Gescheiden ingezamelde textiel	0.4			0.5	0.4			0.3		0.4							0.4	0.4	0.5		0.4	0.4			
Gescheiden ingezameld oud en bewerkt hout	6.4			8.0				5.2		6.3					7.9		7.4	6.6	8.1		7.4	5.9			
Gebruikte autobanden											1.0						1.2								
Restfractie van huishoudelijk afval (incl. inert en KCA)						17.0	20.4												31.2				22.7	29.8	
Restfractie van grof huishoudelijk afval (incl. inert en KCA)						3.5																			
Restfractie van bouw- en slooafval (incl. niet-gescheiden inert en KCA)						3.1		4.6	4.4																
Restfractie van industrieel afval (incl. inert en KCA)						4.2		6.2	5.9																
Restfractie van kantoor, winkel en dienstenafval (incl. inert en KCA)						7.8	9.4												14.4				10.5	13.8	
Shredderafval (incl. inert en KCA)																									
Import eerste tranche								9.3											11.6						
Import tweede tranche																			77.3						
Totaal per technologie	38.1	0.0	0.0	47.7	17.0	0.0	36.1	62.7	11.7	16.7	38.5	0.0	0.0	0.1	26.1	17.3	44.1	128.4	94.0	7.3	28.0	68.6	54.4		

2010-2015 Uitgespaarde fossiele brandstof, [PJ]	CFB-vergasser-gasmotor, 3 MW _e	CFB-vergasser-STEg, 30 MW _e	CFB-vergasser-STEg, 150 MW _e	Bijstook totk KV/STEg	BFB-turbine, 10 MW _e	FB-gasmotor, 1 MW _e	Verbranding, wervelbed, 25 MW _e	Pyrolyse gasmotor- slootturbine, 8 MW _e	Pyrolyse STEg, 30 MW _e	Flash pyrolyse voor meestook	HTU voor meestook	Natte vergisting	Droge vergisting	Indirecte meestook in ko- lencentrale	Bijstook na vergassing, schoone stromen	Bijstook na pyrolyse, schoone stromen	Bijstook in aardgas-STEg	Stoomzijdige integratie bij kolencentrale	Kleinschalige verbranding, 1 MW _{th}	Bijstook na vergassing, 'vuile' stromen	Stoomzijdige integratie bij kolencentrale	Directe meestook in ko- lencentrale	
Korte omloop hout																							
Bosbouw/fruitsector	7.3	8.0	8.5	9.2	6.8		5.9				7.5			9.1	9.2	8.5	7.7	9.3				6.8	
Schoon resthout (incl. bast), vers	7.7	8.5	8.9	9.7	7.2		6.2		7.6	7.6	7.9			9.6	9.7	8.9	8.1	9.8	8.9			7.1	
Miscantus/hooi van graszaden														1.3									
Bermgras	1.8	2.0	2.1	2.3	1.7		1.5	1.8	1.8	1.8	1.9			2.3	2.3	2.1	1.9	2.3				1.7	
Stro (granen)/koolzaadstro/Hennep etc.																							
Pluimveemest	10.0	11.0	11.6	12.3						9.9	10.3					11.6	10.5	12.7		11.4	9.3	12.4	
Rundermest, kalvermest en varkensmest																							
RWZI slib	1.2	1.3	1.4	1.4		0.8		1.2	1.2	1.2	1.2						1.3	1.5		1.2	1.1		
V&G/Swill																							
Gescheiden ingezameld GFT	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1		0.1				0.1		0.1				0.1	0.2		0.1	0.1		
Gescheiden ingezameld oud papier en karton	7.8	8.6	9.1	9.8	7.2		6.2		7.7	7.7						9.0	8.2	9.8		9.0	7.1		
Gescheiden ingezamelde kunststoffen	7.8		9.0	9.8	7.3		6.3			7.7						9.0	8.2	9.9		9.0	7.2		
Gescheiden ingezamelde textiel	0.6		0.7	0.8	0.6		0.5			0.6						0.7	0.6	0.8		0.7	0.6		
Gescheiden ingezameld oud en bewerkt hout	8.1	8.9	9.4	10.2			6.5			8.0				10.1		9.4	8.5	10.3		9.4	7.5		
Gebruikte autobanden										1.6						1.8							
Restfractie van huishoudelijk afval (incl. inert en KCA)						17.2	19.1											29.9				21.8	28.6
Restfractie van grof huishoudelijk afval (incl. inert en KCA)																							
Restfractie van bouw- en sloopafval (incl. niet-gescheiden inert en KCA)						3.0		4.2	4.0														
Restfractie van industrieel afval (incl. inert en KCA)						3.2		4.6	4.4														
Restfractie van kantoor, winkel en dienstenafval (incl. inert en KCA)						6.8	7.6											11.9				8.7	11.3
Shredderafval (incl. inert en KCA)																							
Import eerste tranche			19.5				13.6										17.7						
Import tweede tranche			130.0														117.8						
Totaal per technologie	52.6	48.4	210.4	65.5	31.0	0.0	31.0	73.4	11.8	26.6	46.0	29.0	0.0	0.1	32.6	21.1	61.0	190.6	108.3	8.9	40.9	79.0	52.3

2015-2020 Uitgespaarde fossiele brandstof, [PJ]	CFB-vergasser-gasmotor, 3 MW _e	CFB-vergasser-STEg, 30 MW _e	CFB-vergasser-STEg, 150 MW _e	Bijstook in KV/STEg	BFB-turbine, 10 MW _e	FB-gasmotor, 1 MW _e	Verbranding, AVI	Verbranding, wervelbed, 25 MW _e	Pyrolyse gasturbine, 8 MW _e	Pyrolyse gasturbine- stoomturbine, 8 MW _e	Pyrolyse STEg, 30 MW _e	Flash pyrolyse voor meestook	HTU voor meestook	Natte vergisting	Droge vergisting	Indirecte meestook in kolen- centrale	Bijstook na vergassing, schone stromen	Bijstook na pyrolyse, schone stromen	Bijstook in aardgas-STEg	Stoomzijdige integratie bij ko- lencentrale	Kleinschalige verbranding, 1 MW _{th}	Bijstook na vergassing, 'vuile' stromen	Stoomzijdige integratie bij gas- centrale	Directe meestook in kolencentrale	
Korte omloop hout																									
Bosbouw/fruitsector	9.1	9.8	10.5	11.3	8.5			7.1				9.2				11.2	11.3	10.4	9.6	11.4				8.3	
Schoon resthout (incl. bast), vers	9.2	10.0	10.7	11.4	8.6			7.2		9.1	9.0	9.4				11.4	11.4	10.5	9.7	11.6	10.4			8.4	
Miscantus/hooi van graszaden																1.9									
Bermgras	1.8	2.0	2.1	2.3	1.7			1.4	1.9	1.8	1.8	1.9				2.3	2.3	2.1	1.9	2.3				1.7	
Stro (granen)/koolzaadstro/Hennep etc.																									
Pluimveemest	11.4	12.3	13.3	13.9								11.2	11.6					13.0	12.0	14.3		12.8	10.4	13.9	
Rundermest, kalvermest en varkensmest																									
RWZI slib	1.5	1.6	1.7	1.7			1.1		1.5	1.4	1.4	1.5							1.6	1.8		1.5	1.3		
V&G/Swill																									
Gescheiden ingezameld GFT	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1			0.0				0.1			0.0	0.1			0.1	0.1		0.1	0.1		
Gescheiden ingezameld oud papier en karton	11.8	12.8	13.8	14.7	10.9			9.2	12.0	11.7	11.5						13.6	12.5	14.7			13.6	10.7		
Gescheiden ingezamelde kunststoffen	11.8	12.7	13.7	14.7	11.0			9.2			11.5						13.5	12.5	14.8			13.5	10.8		
Gescheiden ingezamelde textiel	0.8	0.9	1.0	1.1	0.8			0.7			0.8						1.0	0.9	1.1			1.0	0.8		
Gescheiden ingezameld oud en bewerkt hout	9.9	10.7	11.6	12.4				7.7			9.7					12.3		11.4	10.5	12.5		11.4	9.1		
Gebruikte autobanden											2.1							2.5							
Restfractie van huishoudelijk afval (incl. inert en KCA)							17.1	17.6			22.6									28.2			20.5	26.9	
Restfractie van grof huishoudelijk afval (incl. inert en KCA)																									
Restfractie van bouw- en sloopafval (incl. niet-gescheiden inert en KCA)							2.9		3.8	3.7															
Restfractie van industrieel afval (incl. inert en KCA)							2.4		3.2	3.1															
Restfractie van kantoor, winkel en dienstenafval (incl. inert en KCA)							5.7	6.0												9.6			7.0	9.1	
Shredderafval (incl. inert en KCA)																									
Import eerste tranche			26.4					17.8											23.9						
Import tweede tranche			175.8																159.5						
Totaal per technologie	67.5	72.9	280.7	83.4	41.6	0.0	29.1	83.9	22.2	53.5	59.1	33.7	0.0	0.0	39.1	25.0	78.0	254.7	122.2	10.4	53.8	89.1	49.9		

BIJLAGE F TRENDS EN TRANSITIE OP DE LANGE TERMIJN

TRENDS EN TRANSITIE OP DE LANGE TERMIJN

*Achtergrondstudie
in het kader van het project
Scenario's en marsroutes voor implementatie van energie uit afval en biomassa
in opdracht van Novem*

Dr. R. Weterings
Dr. J. Quakernaat

TNO-MEP
Apeldoorn, april 2000



INHOUDSOPGAVE

1.	<i>Introductie</i>	3
2.	<i>Trends en transitie op drie niveau's</i>	4
3.	<i>Maatschappelijke trends</i>	5
4.	<i>Transitie naar een duurzame energievoorziening</i>	7
5.	<i>Energieopwekking uit afval en biomassa</i>	10
6.	<i>Robuuste en kritische factoren voor marktpenetratie</i>	13
7.	<i>Bronnen</i>	15

1. **INTRODUCTIE**

Taak 3 van het project 'Marsroutes voor energieopwekking uit afval en biomassa' behelst de beschrijving van een in de toekomst tot ontwikkeling komend samenhangend stelsel van conversieroutes, voor enkele hoofscenari'o's voor energieopwekking uit afval en biomassa in de periode van 2000 tot 2020. Hiertoe wordt een beoordeling in de tijd gemaakt van de technisch-economische haalbaarheid van de in taak 2 beschreven conversiesystemen. Bij deze beoordeling wordt rekening gehouden met de technologische dynamiek en de sociaal-economische ontwikkeling die mogelijk de komende decennia optreden.

Doel van de achtergrondstudie

De achtergrondstudie heeft tot doel inzicht te geven in lange termijn-trends in technologie en maatschappij die van invloed kunnen zijn op de marktpenetratie van conversiesystemen voor energieopwekking uit afval en biomassa. De waarde van deze achtergrondstudie voor het onderhavige project is dat de marktpenetratie van energie uit afval en biomassa geplaatst wordt in een bredere maatschappelijke context. Bovendien wordt de implementatieperiode tot 2020 (waarop het project 'Marsroutes' zich richt) gepositioneerd als onderdeel van een lange termijn transitie in de energievoorziening.

Werkwijze

Op basis van een gerichte literatuurstudie is informatie verzameld over:

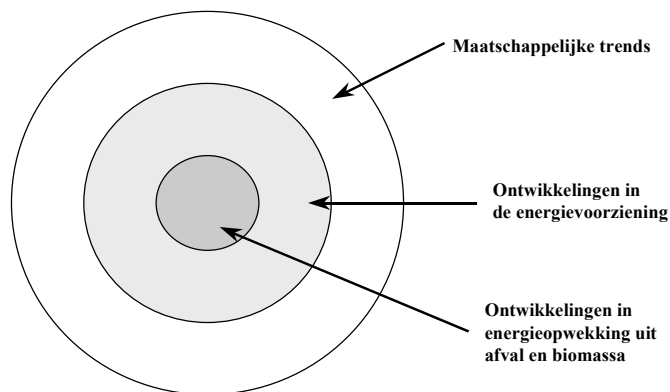
- belangrijke maatschappelijke trends en onzekerheden op de lange termijn
- de doorwerking van deze trends en onzekerheden in de toekomstige energievoorziening
- kansen en bedreigingen die uit deze trends voortvloeien voor de marktpenetratie van conversiesystemen voor energiewinning uit biomassa en afval

Op basis hiervan zijn enkele kritische factoren aangeduid die bepalend zijn voor de marktpenetratie van conversiesystemen in de periode tot 2020. Deze kritische factoren worden mogelijk als 'breekpunten' in de marsroutes van de voorgrondstudie gebruikt.

3

2. **TRENDS EN TRANSITIE OP DRIE NIVEAU'S**

De achtergrondstudie werkt van 'buiten' naar 'binnen'. De marktpenetratie van systemen voor conversie van energie uit afval en biomassa maakt immers onderdeel uit van ontwikkelingen in de energievoorziening, die weer deel uitmaken van maatschappelijke ontwikkelingen.



4

3. MAATSCHAPPELIJKE TRENDS

Robuuste trends:

1. Bevolkingsgroei en vergrijzing zetten door:

- forse groei van de wereldbevolking van 6 miljard (1999) naar 8 miljard (2020)
- in EU-15 beperkte bevolkingsgroei tot 2010, daarna stabilisatie
- toenemende vergrijzing van de bevolking binnen de EU

2. Voortgaande economische groei:

- mondiaal een economische groei van gemiddeld 2 tot 3 % per jaar
- ook binnen EU een voortgaande economische groei, leidend tot meer materiële welvaart
- comfort wordt steeds belangrijker in levensstijl van EU-burgers: steeds kleiner aandeel van budget wordt besteed aan voeding, energie en wonen, steeds groter aandeel aan cultuur, recreatie en dergelijke.

3. Groei van de energievraag

4. Steeds verdere penetratie van informatietechnologie

- toenemende betekenis van dienstensector ten opzichte van industrie
- informatie en communicatie worden steeds belangrijker voor productiviteit en toegevoegde waarde
- ontkoppeling van tijd / plaats verandert de relatie tussen vraag en aanbod van producten / diensten

5. Europese integratie zet door:

- betekenis van EU-beleid voor nationaal beleid (klimaat, energie & milieu, landbouw, etc.) steeds groter;
- samenwerking tussen lidstaten groeit zowel in de breedte als in de diepte

5

Verwachte ontwikkeling in de energievraag per sector (EU - 15)

(bron: European Commission, 1999: Energy in Europe - baseline scenario)

Sector	Energy demand in 1995	Annual growth rate (%)		Toelichting
		1995/2010	2010/2020	
Industrie	247 Mtoe	0.9	0.3	Toename energiegebruik en stijging energie-efficiëntie
Residential	241 Mtoe	0.7	0.5	Beperkte bevolkingsgroei en groei aantal huishoudens
Tertiary	124 Mtoe	1.7	1.1	Snelle opkomst van de dienstensector
Transport	276 Mtoe	1.5	0.4	Toename transport en stijging energie-efficiëntie

Conclusies:

- groei van het energiegebruik tot 2020 (tot 2010 1% met p er jaar, na 2010 met 0.4% per jaar)
- sterkste groei ten gevolge van opkomst dienstensector en toename transport (personen en goederen)

6

4. **TRANSITIE NAAR EEN DUURZAME ENERGIEVOORZIENING**

Kern-karakteristieken van de huidige energievoorziening blijven tot 2020 ongewijzigd:

- Economisch primaat: competitieve energie-prijzen en kosten
- Voorzieningszekerheid blijft cruciale doelstelling
- Invloed van regelgeving t.a.v. klimaat en milieu blijft toenemen
- Aandeel fossiele energiedragers vooralsnog dominant (met name aardgas)

Transitie is op gang gekomen in het scala van energiedragers:

- Groeiende diversiteit van energiedragers
- Nederland wordt in toenemende mate afhankelijk van import

Transitie is op gang gekomen in technieken voor winning en conversie:

- Geavanceerde technologie voor winning fossiele energiedragers
- Ontwikkeling en stapsgewijze introductie van conversiesystemen voor afval en biomassa

Transitie is op gang gekomen in systemen voor distributie en opslag:

- Flexibele energie-infrastructuur (centraal / decentraal)
- Maatwerk in distributie en opslag (kwaliteit, tijd en plaats)

Transitie is op gang gekomen in gebruik:

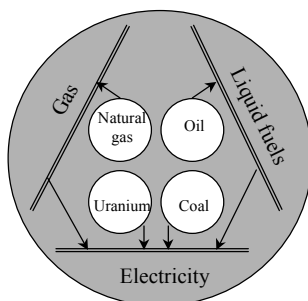
- Integratie van energiestromen op lokaal / regionaal niveau
- Toenemende vraag naar elektriciteit
- Stapsgewijze verbetering van energie-efficiëntie

7

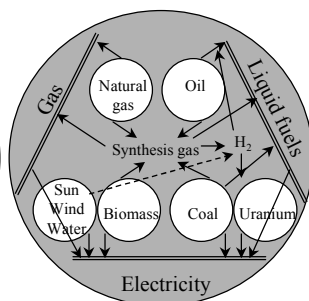
Transitie in de energievoorziening: energiedragers

(bron: Veringa, Quakernaat, Mozaffarian, 1999: DECADE-concept)

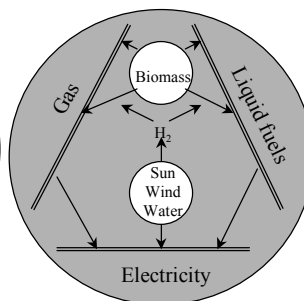
Huidige situatie



Transitie situatie



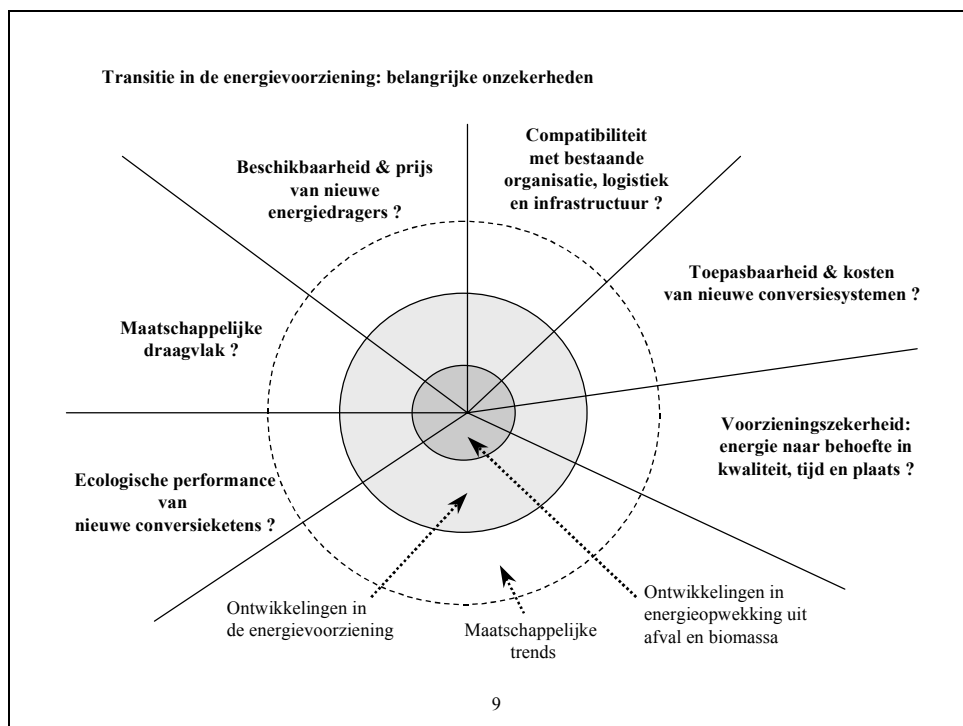
Toekomstige situatie



Conclusies:

- biomassa speelt een belangrijke rol in transitie, zowel op middellange als op lange termijn
- appreciatie van de inzet van biomassa technologie is groter dan bijvoorbeeld zon of windtechnologie

8



5. **ENERGIEOPWEKKING UIT AFVAL EN BIOMASSA**

Belangrijke onzekerheden over energieopwekking uit afval en biomassa:

1. Voorzieningszekerheid ?

- betrouwbaarheid van levering op maat: tijd, plaats en kwaliteit (contracteerbaarheid)
- betrouwbaarheid logistiek van inzameling, conversie en transport van afval en (met name) biomassa
- invloed van steeds verdere penetratie van informatietechnologie

2. Toepasbaarheid & (relatieve) kosten van nieuwe conversiesystemen voor afval en biomassa ?

- benodigde tijd voor ontwikkeling tot marktintroductie
- technologische bottlenecks bij ontwikkeling van nieuwe systemen
- betrouwbaarheid, efficiëntie en kosten bij grootschalige toepassing
- dekking voor (structureel) onrendabele top voor industriële toepassers
- integrale kosten van conversieketen: primaire productie, transport, conversie en distributie
- de voorspelbaarheid en hoogte van de economische risico's die marktpartijen moeten nemen bij de inzet van afval en biomassa voor energieopwekking en hun bereidheid deze risico's te nemen

3. Compatibiliteit met bestaande organisatie, logistiek en infrastructuur ?

- compatibiliteit van conversiesystemen voor afval en biomassa met bestaande energie-infrastructuur
- veranderende rollen, netwerken en verantwoordelijkheden in energie-, landbouw- en afvalsector
- de mate van institutionalisering van de energieconversieketen voor afval en biomassa
- competenties van ontwikkelaars en (potentiële) toepassers
- timing van benodigde investeringen met business cycle van potentiële toepassers
- de kansen die de introductie van energie uit afval en biomassa biedt voor nieuwe spelers op de markt

Meer belangrijke onzekerheden over energieopwekking uit afval en biomassa:

4. Beschikbaarheid & prijs van afval en biomassa voor energieopwekking ?

- ambitieniveau en naleving van internationale afspraken ten aanzien van CO₂-reductie / klimaatbeleid
- internationale samenwerking in het stimuleren van energieopwekking uit afval en biomassa
- regulering versus liberalisering van energiemarkt, afvalmarkt, landbouwmarkt en bosbouwmarkt

5. Maatschappelijk draagvlak voor energieopwekking uit afval en biomassa ?

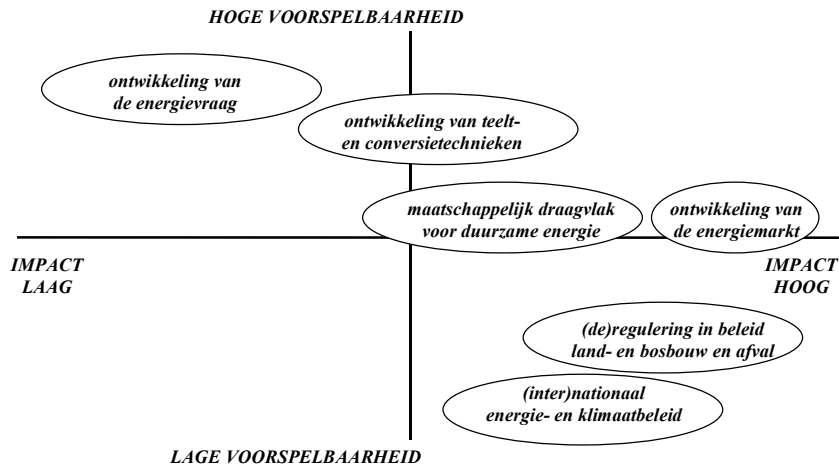
- de maatschappelijke vraag naar en de waardering van eindgebruikers voor energie uit afval en biomassa
- de lokale acceptatie van installaties voor verwerking van biomassa
- de acceptatie van grootschalige biomassa-teelt (en van de daarmee verbonden ecologische gevolgen) door eindgebruikers en door diegenen die direct of indirect de gevolgen ondergaan
- maatschappelijke discussie over energietoepassing van specifieke stromen (bijv. kippenmest, oud papier)
- de maatschappelijke acceptatie van alle met energie uit afval en biomassa verbonden kosten

6. Ecologische performance van nieuwe conversieketens ?

- ongewenste neveneffecten van de conversie van afval en biomassa op milieukwaliteit (emissies, afval)
- ongewenste neveneffecten van de productie van afval en biomassa op milieukwaliteit (bijv. emissies van intensieve veehouderij als producent van mest), ruimte en biodiversiteit (energieteelt)
- hoogwaardigheid van energietoepassing ten opzichte van hergebruik of andere nuttige toepassing van afval en biomassa (bijv. compostering)
- cascadering in de conversieketen: integratie van energietoepassing van bepaalde fracties met andere nuttige toepassing van andere fracties
- remmende invloed op marktintroductie van emissie-eisen en andere regelgeving

Beschikbaarheid & prijs van afval en biomassa voor energieopwekking tot 2020:

(bron: Weterings et al., 1999: Beschikbaarheid van afval en biomassa voor energieopwekking in Nederland)



Conclusie:

- Cruciaal voor beschikbaarheid & prijs van afval en biomassa voor energieopwekking in Nederland tot 2020 zijn:
- de ontwikkeling van het internationaal energie- en klimaatbeleid
 - de mate van (de)regulering door de (inter)nationale overheid van de landbouw-, bosbouw- en afvalmarkt

6. **ROBUUSTE EN KRITISCHE FACTOREN VOOR MARKTPENETRATIE**

De trends en onzekerheden die hiervoor zijn benoemd, zijn samen te vatten in een aantal robuuste factoren en een aantal kritische factoren, die bepalend zijn voor de marktpenetratie van conversiesystemen voor energieopwekking uit afval en biomassa in de periode tot 2020.

Robuuste factoren

Stimulerende invloed op marktpenetratie mag worden verwacht van:

- voortgaande economische groei schept ruimte voor extra investeringen
- Europese integratie zet door en biedt betere voorwaarden voor marktintroductie
- vergaande penetratie van ICT kan complexe logistiek ondersteunen
- temidden van diversiteit van energiedragers speelt biomassa een centrale rol in transitie
- conversiesystemen voor afval en biomassa beschikbaar in diverse ontwikkelingsstadia
- maatschappelijk draagvlak voor energie uit afval en biomassa groeit

Remmende invloed op marktpenetratie mag worden verwacht van:

- ongelijke liberalisering binnen EU ondergraaft kansen door Europese integratie
- aandeel fossiel blijft tot 2020 dominant
- kostenniveau fossiel stabiel lager dan kosten van energie uit afval en biomassa
- omschakeling naar bio-energie maakt Nederland steeds afhankelijker van import van biomassa
- onzekerheid over rol en verantwoordelijkheden van spelers in nieuwe conversieketens
- technologische bottlenecks en onzekerheid m.b.t. opschaling
- ongewenste neveneffecten voor milieukwaliteit, ruimte en biodiversiteit belemmeren marktintroductie
- gebrekkige acceptatie van grootschalige energieteelt en grootschalige conversie op lokaal niveau

13

Kritische factoren

Kritische factoren die kansen of bedreigingen opleveren voor de marktpenetratie van conversiesystemen voor energieopwekking uit afval en biomassa in de periode tot 2020:

<i>Kritische factor</i>	<i>Kansen</i>	<i>Bedreigingen</i>
1. Klimaatbeleid	* intensivering klimaatbeleid stimuleert transitie	* bij zwak klimaatbeleid stagneert transitie
2. Regulering	* regulering energiemarkt bevordert energie uit afval en biomassa	* regulering land- en bosbouw en afvalmarkt onttrekt afval en biomassa aan energievoorziening
3. Diversiteit	* diversiteit energiedragers biedt op termijn mogelijkheden voor synergie	* diversiteit energiedragers leidt op korte termijn tot concurrentie tussen energiedragers
4. Import	* energieopwekking uit Nederlandse biomassastromen, aangevuld met rendabele en betrouwbare import uit EU-lidstaten	* Europese competitie leidt tot kleinere en duurdere importstromen van biomassa

14

7. **BRONNEN**

- Arthur D. Little (1999) Analyse en evaluatie van GAVE ketens. Novem: Gave-rapporten 9908 - 9910.
- Centraal Planbureau (1992) Scanning the Future. Den Haag: CPB.
- Edenhofer, O en C.C. Jaeger (1998) Power shifts: the dynamics of energy efficiency, in: Energy Economics 20 (1998) 513 - 537
- European Commission (1999) Energy in Europe. Economic Foundation for Energy Policy. Brussel: Directorate-General for Energy, The Shared Analysis Project. Special Issue - December 1999.
- Hall, D.O. (1991) Biomass Energy, in: Energy Policy (October 1991) 711 - 737.
- Kaltschmitt, M. (1999) Energiegewinnung aus Biomasse im Vergleich zur Nutzung andere regenerativer Energien. Eine energiewirtschaftliche Analyse. Universitat Stuttgart, IER.
- Lenstra, W.J. en B.C.W. van Engelenburg, G. van Grootveld (1999) Frameworks and communication: perspectives in tackling the climate change challenge for energy supply. Den Haag: Ministerie VROM.
- Netherlands' Foundation for Development of Sustainable Chemistry (1999) Sustainable Development in Chemistry. Improving the quality of life through chemistry and agriculture. Wageningen: DCO.
- Ruijgrok, W. en H. Erbink (1999) Invloed van Europese beleidstrends op bio-energie in Nederland. KEMA.
- Ruijgrok, W. en M.C. Kalf (1998) Bouwstenen bio-energie 2020. Novem: EWAB 9838.
- Veringa, H.J. en J. Quakemaat, M. Mozaffarian (1999) DECADE-concept. Fase 1: Verkenning. Petten: ECN
- Weterings, R. en J. Kuijper, E. Smeets (1997) 81 Mogelijkheden. Technologie voor duurzame ontwikkeling. Den Haag: Ministerie van VROM.
- Weterings, R. en G. Bergsma, J. Koppejan, M. Meeusen (1999) Beschikbaarheid van afval en biomassa voor energieopwekking in Nederland. Novem: GAVE-rapport 9911, EWAB-rapport 9926.