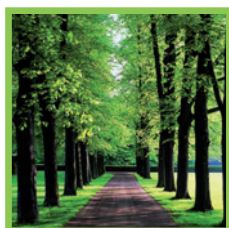
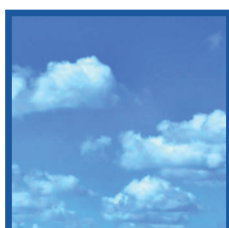


Inzet van biologisch afval

Gevalstudie niet-verontreinigd houtafval



Studie uitgevoerd in opdracht van
MIRA, Milieurapport Vlaanderen

Onderzoeksrapport

MIRA/2011/03, maart 2011

Inzet van biologisch afval – Gevalstudie niet-verontreinigd houtafval

Johan Vanneste, Tom Van Gerven, Bart Van der Bruggen, Afdeling
Toegepaste Fysische Scheikunde en Milieutechnologie, K.U.Leuven

Lieve Helsen, Afdeling Toegepaste Mechanica en Energieconversie,
K.U.Leuven

met medewerking van:

Erika Vander Putten, MIRA-team, VMM

Nico Vanaken, Luk Umans, Bart Thibau, Afdeling Afvalstoffenbeheer,
OVAM

**Studie uitgevoerd in opdracht van MIRA,
Milieurapport Vlaanderen**

MIRA/2011/03

Maart 2011



Dit rapport verschijnt in de reeks MIRA Ondersteunend Onderzoek van de Vlaamse Milieumaatschappij. Deze reeks bevat resultaten van onderzoek gericht op de wetenschappelijke onderbouwing van het Milieurapport Vlaanderen.

Dit rapport is ook beschikbaar via www.milieurapport.be.

Contactadres:

Vlaamse Milieumaatschappij
Milieurapportering (MIRA)
Van Benedenlaan 34
2800 Mechelen
tel. 015 45 14 61
mira@vmm.be

Wijze van citeren:

Vanneste J., Van Gerven T., Van der Bruggen B., Helsen L. (2011), Inzet van biologisch afval – Gevalstudie niet-verontreinigd houtafval, studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, MIRA, MIRA/2011/03, K.U.Leuven.

D/2011/6871/016
ISBN 978-908040205-8
NUR 973/943

1. Inhoudstafel

Inhoudstafel figuren.....	5
Inhoudstafel tabellen	7
2. Samenvatting.....	9
3. Probleemstelling	13
3.1. Introductie.....	13
3.2. Doelstelling.....	14
3.3. Afbakening	14
3.4. Aannames en uitgangspunten	16
3.4.1. Inventaris biologisch afval	16
3.4.2. CO ₂ -neutraliteit verbranding biologisch afval	16
3.4.3. Verschil CO ₂ -emissies en CO ₂ -equivalente emissies	17
3.4.4. Gebruikte rendementen van installaties op biologisch afval en houtafval	17
3.4.5. Gebruikte rendementen en emissiefactoren referentie-installatie	18
3.4.6. Keuze referentie-installatie voor berekening CO ₂ - reductie stroom uit biologisch afval	18
3.4.7. Keuze referentie-installatie voor berekening CO ₂ - reductie warmteproductie met biologisch afval	20
3.4.8. CO ₂ -reductie in ton CO ₂ per GJ houtafval of per GWh elektriciteit/warmte	21
3.4.9. CO ₂ -emissies voor transport en voorbehandeling houtafval	21
3.4.10. Gebruikte gegevens voor berekening van onrendabele top (OT) in 2008	22
3.4.11. Functioneel equivalente hoeveelheid materiaal	23
3.4.12. Keuze referentiematerialen en overeenkomstige levensduur	23
3.4.13. Emissies bij productie van spaanplaat en referentiematerialen.....	24
3.4.14. CO ₂ -opslag in hout	24
3.4.15. Tijdstip CO ₂ -emissies	25
3.4.16. Referentie energetische valorisatie voor berekening CO ₂ -reductie recyclage	25
3.4.17. Emissies afvalstadium en effect van meerdere recyclagecycli	25
3.4.18. Vergelijking andere emissies ten gevolge van energetische valorisatie en recyclage van houtafval.....	26
4. Samenstelling en verwerking biologisch afval	27
4.1. Samenstelling en energie-inhoud van biologisch afval (situatie 2005)	27
4.2. Energetische valorisatiemogelijkheden voor biologisch afval	28
4.3. Verwerking van biologisch afval (situatie 2005).....	29
4.4. Productie van elektriciteit en warmte op basis van biologisch afval (situatie 2005).....	30

4.5. CO ₂ -emissies vermeden door energetische valorisatie van biologisch afval (situatie 2005).....	33
4.6. Verwerking van biologisch afval: spanningsveld tussen energetische valorisatie en recyclage	35
5. Milieu-impact van verwerking – gevalstudie onbehandeld en behandeld niet-verontreinigd houtafval	39
5.1. Vergelijking milieu-impact van de verschillende energetische valorisatiemogelijkheden	39
5.1.1. Vermeden CO ₂ -emissies	39
5.1.2. Andere emissies veroorzaakt door energetische valorisatie	43
5.1.3. Steunmaatregelen voor elektriciteitsproductie op basis van houtafval in 2008	43
5.2. Vergelijking milieu-impact recyclage en energetische valorisatie	48
5.2.1. Vermeden CO ₂ -emissies met gelijkaardige referentiematerialen.....	48
5.2.2. Andere emissies door recyclage	57
5.2.3. Vergelijking emissies van sterk verschillende materialen	58
5.2.4. Landgebruik.....	59
5.2.5. Steunmaatregelen voor recyclage houtafval.....	59
6. Conclusies	60
Referenties	64
Lectoren	66
Begrippen.....	67
Afkortingen	67
7. Bijlage.....	69
7.1. Aannames	69
7.1.1. Keuze referentie-installatie voor berekening CO ₂ -reductie groene stroom	69
7.1.2. CO ₂ -emissies voor transport en voorbehandeling houtafval	72
7.1.3. Gebruikte gegevens berekening onrendabele top	74
7.1.4. Functioneel equivalente hoeveelheid materiaal	95
7.1.5. CO ₂ -opslag in hout	95
7.1.6. Tijdstip CO ₂ -emissies	96
7.1.7. Vergelijking andere emissies ten gevolge van energetische valorisatie en recyclage van houtafval.....	99
7.2. Tabellen bij figuren	101

Inhoudstafel figuren

Figuur 1: Samenstelling van het afval geproduceerd in Vlaanderen (situatie 2005)	27
Figuur 2: Samenstelling en energie-inhoud van het biologisch afval geproduceerd in Vlaanderen (2005)	28
Figuur 3: Verwerking van biologisch afval in Vlaanderen, opgesplitst in recyclage (links) en energetische valorisatie (rechts) (2005)	30
Figuur 4: Geschatte elektriciteits- en warmteproductie op basis van de inventaris biologisch afval. Vergelijking en aanvulling met gegevens aantal GSC van VREG (Vlaanderen, 2005)	31
Figuur 5: Productie van elektriciteit op basis van biologisch afval (Vlaanderen, 2002-2007)	32
Figuur 6: Schematische voorstelling vermeden CO ₂ -emissies door gebruik biologisch afval als brandstof	33
Figuur 7: Minimale en maximale CO ₂ -reductie en gemiddelde van beide door productie van elektriciteit en warmte op basis van biologisch afval (Vlaanderen, 2005). Minimale en maximale waarden komen respectievelijk overeen met een STEG en het gemiddeld park zonder kerncentrales als referentie voor elektriciteitsproductie en een stookinstallatie op aardgas en stookolie voor warmteproductie	35
Figuur 8: Verwerking van houtafval afkomstig van huishoudens, bedrijven (uitgezonderd houtbewerking) en bouw- en sloopactiviteiten (Vlaanderen, 2001-2004)	37
Figuur 9: Gemiddelde CO ₂ -reductie in 2008 per valorisatie-optie van houtafval met verschillende referenties op fossiele brandstoffen voor warmteproductie en met het gemiddelde van het Belgisch elektriciteitspark zonder kerncentrales en een gascentrale als referentie voor elektriciteitsproductie. Voor steenkoolcentrales werd een steenkoolcentrale als referentie genomen (zie aannames)	41
Figuur 10: CO ₂ -emissie per GWh elektriciteit voor verschillende opties van elektriciteitsproductie in 2008	43
Figuur 11: Verschil tussen minimumsteun GSC en onrendabele top voor verschillende technologieën voor productie groene stroom (situatie 2008)	44
Figuur 12: Verschil tussen minimumsteun GSC en onrendabele top voor verschillende technologieën voor productie groene stroom op basis van houtafval en voor verschillende types houtafval (situatie 2008)	45
Figuur 13: Aandeel afvalstof in totaal vermogen bijstook in steenkoolcentrales in 2007	46
Figuur 14: Verschil in 2008 tussen effectief steunniveau en onrendabele top voor verschillende opties voor elektriciteitsproductie op basis van verschillende types houtafval in Vlaanderen en Nederland	47
Figuur 15: Belangrijkste afzetmarkten voor spaanplaten in België	49
Figuur 16: Scenario 'recyclage' versus scenario 'energetische valorisatie' van houtafval voor biologisch referentiemateriaal	51
Figuur 17: Evolutie van de hoeveelheid CO ₂ in de atmosfeer voor het scenario recyclage tot spaanplaten voor de meubelindustrie (levensduur 20 jaar) (links) en voor het scenario energetische valorisatie van houtafval (rechts) met een biologisch materiaal (OSB-plaat) als referentiemateriaal en een stookolieketel als referentie voor energieproductie	52
Figuur 18: Minimale en maximale CO ₂ -reductie en gemiddelde van beide door recyclage van houtafval tot spaanplaten voor de meubelindustrie (levensduur 20 jaar) ten opzichte van energetische valorisatie van houtafval en vervanging door een referentiemateriaal. Minimale en maximale CO ₂ -reductie werden respectievelijk bepaald met een gaskachel en stookolieketel als referentie voor warmteproductie	53

Figuur 19: Scenario 'recyclage' versus scenario 'energetische valorisatie' van houtafval voor niet-biologisch referentiemateriaal	54
Figuur 20: Evolutie van de hoeveelheid CO ₂ in de atmosfeer voor het scenario recyclage tot spaanplaten voor toepassing in de bouw (levensduur 40 jaar) (links) en voor het scenario energetische valorisatie van houtafval (rechts) met een niet-biologisch materiaal (gipsplaat) als referentiemateriaal en een stookolieketel als referentie voor energieproductie	55
Figuur 21: Minimale en maximale CO ₂ -reductie en gemiddelde van beide door recyclage van houtafval tot spaanplaten voor toepassing in de bouw (levensduur 40 jaar) ten opzichte van energetische valorisatie van houtafval en vervanging door een referentiemateriaal. Minimale en maximale CO ₂ -reductie werden respectievelijk bepaald met een gaskachel en stookolieketel als referentie voor warmteproductie.	57
Figuur 22: Gemiddelde emissiereductie door materiaalsubstitutie berekend op basis van reële emissies in de veronderstelling dat 1 ton hout equivalent is met 1 ton van een referentiemateriaal	58
Figuur 23: Milieu-impact van een houtskeletbouwwoning vergeleken met een woning opgetrokken uit voornamelijk staal of beton.....	59
Figuur 24: Grensoverschrijdende overbrenging postconsumer houtafval voor energetische valorisatie (OVAM)	72
Figuur 25: Geschatte hoeveelheid producten in omloop aan de hand van twee verschillende methoden voor een product met een gemiddelde levensduur van 30 jaar. De CO ₂ -opslag wordt berekend op basis van de resterende productfractie na 100 jaar	96
Figuur 26: Evolutie van de hoeveelheid CO ₂ in de atmosfeer in functie van de tijd ten gevolge van een emissie vandaag.....	97
Figuur 27: Verschil gemiddelde hoeveelheid CO ₂ in de atmosfeer over een periode van 100 jaar tussen het scenario energetische valorisatie en het scenario recyclage in functie van de gemiddelde levensduur van het product en de hoeveelheid vermeden CO ₂ -uitstoot door substitutie van fossiele brandstoffen voor gipsplaat als referentiemateriaal. De vermeden emissies door substitutie van fossiele brandstoffen werden in stappen van 0,1 gevarieerd van 0,5 ton CO ₂ /ton hout tot 1,6 ton CO ₂ /ton hout. De ondergrens komt ongeveer overeen met verwerking van houtafval in een afvalverbrandingsinstallatie (Tabel 26). De bovengrens komt ongeveer overeen met verwerking in een stookinstallatie met steenkool als referentiebrandstof (Tabel 26).....	98
Figuur 28: Verschil gemiddelde hoeveelheid CO ₂ in de atmosfeer over een periode van 100 jaar tussen het scenario energetische valorisatie en het scenario recyclage in functie van de gemiddelde levensduur van het product en de hoeveelheid vermeden CO ₂ -uitstoot door substitutie van fossiele brandstoffen voor een fictief referentiemateriaal met dezelfde CO ₂ -uitstoot bij productie als bij recyclage van spaanplaten. De vermeden emissies door substitutie van fossiele brandstoffen werden in stappen van 0,1 gevarieerd van 0,5 ton CO ₂ /ton hout tot 1,6 ton CO ₂ /ton hout. De ondergrens komt ongeveer overeen met verwerking van houtafval in een afvalverbrandingsinstallatie (Tabel 26). De bovengrens komt ongeveer overeen met verwerking in een stookinstallatie met steenkool als referentiebrandstof (Tabel 26).	99
Figuur 29: Verschil onrendabele top en minimumsteun GSC voor verschillende technologieën voor productie groene stroom voor Vlaanderen en Nederland (situatie 2008)	116

Inhoudstafel tabellen

Tabel 1: Gebruikte symbolen en data voor berekening marginale kosten	70
Tabel 2: Algemene inputvariabelen berekening onrendabele top	75
Tabel 3: Inputvariabelen wind onshore < 0,5 MW (W1).....	76
Tabel 4: Inputvariabelen wind onshore > 0,5 MW en < 1,5 MW (W2).....	77
Tabel 5: Inputvariabelen wind onshore > 1,5 MW (W3).....	78
Tabel 6: Inputvariabelen wind offshore (W4)	79
Tabel 7: Inputvariabelen kleinschalige waterkracht (H)	80
Tabel 8: Inputvariabelen biobrandstoffen in gascentrale (BC1).....	81
Tabel 9: Inputvariabelen bijstook afvalhout/houtstof/houtpellets/olijfpitten/agroresidu in kolencentrale (BC2).....	82
Tabel 10: Inputvariabelen vergassing en bijstook afvalhout/houtstof/houtpellets/olijfpitten/agroresidu in kolencentrale (BC3).....	83
Tabel 11: Inputvariabelen WKK op biobrandstoffen < 10 MWe (BD1).....	84
Tabel 12: Inputvariabelen WKK op biobrandstoffen > 10 MWe en < 50 MWe (BD2)	85
Tabel 13: Inputvariabelen WKK op houtstof/olijfpitten/houtpellets < 10 MWe (BD3).....	86
Tabel 14: Inputvariabelen WKK op afvalhout/houtstof/houtpellets/olijfpitten/agroresidu > 10 MWe en < 50 MWe (BD4)	87
Tabel 15: Inputvariabelen AVI = afvalverbrandingsinstallatie met standaard (S), opgevaardeerd (U) en hoog rendement (H) *	88
Tabel 16: Inputvariabelen fotovoltaïsche zonnepanelen voor particulieren (nieuwbouw (N) en renovatie (R)) (PV1).....	89
Tabel 17: Inputvariabelen fotovoltaïsche zonnepanelen voor ondernemingen (PV2)	90
Tabel 18: Inputvariabelen covergisting mest en co-substraat (energie-maïs) en valorisatie biogas in WKK < 10 MWe (V1).....	91
Tabel 19: Inputvariabelen vergisting en valorisatie biogas RWZI/AWZI-slib (V2)	92
Tabel 20: Inputvariabelen energetische valorisatie stortgas (V3).....	93
Tabel 21: Gebruikte elektriciteitsprijzen en onbalansfactor	94
Tabel 22: Geproduceerde, verwerkte en gestorte hoeveelheden biologisch afval per afvalstroom en per verwerkingsoptie in 2005	102
Tabel 23: Energie-inhoud, elektriciteits- en warmteproductie per afvalstroom en per verwerkingsoptie op basis van Tabel 22.....	104
Tabel 24: Evolutie aantal toegekende groenestroomcertificaten (GSC)	105
Tabel 25: Elektriciteits- en warmteproductie, gemiddelde, minimale en maximale CO ₂ -reductie door energetische valorisatie van biologisch afval op basis van inventaris (situatie 2005). Vergelijking en aanvulling met gegevens VREG op basis van aantal toegekende GSC (Tabel 24)	106
Tabel 26: Gemiddelde en maximale CO ₂ -reductie per valorisatie-optie van niet- verontreinigd houtafval met verschillende referenties voor warmteproductie en electriciteitsproductie.....	107
Tabel 27: CO ₂ -emissies per kWh elektriciteit voor verschillende opties van electriciteitsproductie.....	112
Tabel 28: Berekende onrendabele top en effectief steunniveau voor verschillende opties voor productie van groene stroom in Vlaanderen en Nederland in 2008. Voor de opties op basis van houtafval werd de onrendabele top berekend voor verschillende afvalstromen verwerkt in dezelfde installatie.	113
Tabel 29: Gemiddelde onrendabele top en effectief steunniveau in 2008 per technologie op basis van Tabel 28	115
Tabel 30: Vermogen bijstook per afvalstroom en steenkoolcentrale.....	117

Tabel 31: Samenstelling grondstoffen diverse plaatmaterialen	117
Tabel 32: Gemiddelde CO ₂ -reductie door recyclage van behandeld niet-verontreinigd houtafval tot spaanplaten voor verschillende referentiematerialen ten opzichte van energetische valorisatie in een stookinstallatie of kachel. De CO ₂ -reductie werd berekend voor 2 horizonten: 20 en 100 jaar en voor twee typische levensduurtes: 20 jaar voor meubels en andere gebruiksgoederen en 40 jaar voor toepassingen als constructiemateriaal.....	118
Tabel 33: Verschil van CO ₂ -emissies productie referentiemateriaal en recyclageproduct waarbij de CO ₂ -reductie door recyclage gelijk is aan de CO ₂ -reductie door energetische valorisatie van een biologisch materiaal	120
Tabel 34: Gemiddelde emissiereductie door materiaalsubstitutie berekend op basis van reële emissies (Tabel 35 en Tabel 36) in de veronderstelling dat 1 ton hout equivalent is met 1 ton van een referentiemateriaal (RTS Building Information Foundation, Finland, Environmental Reporting for Building Materials, 1998-2001, http://www.rts.fi/ymparistoseloste/valid_declarations.htm)	120
Tabel 35 : Range reële luchtmissies voor recyclage en productie nieuw materiaal (RTS Building Information Foundation, Finland, Environmental Reporting for Building Materials, 1998-2001, http://www.rts.fi/ymparistoseloste/valid_declarations.htm) (Deel 1).....	121
Tabel 36: Range reële luchtmissies voor recyclage en productie nieuw materiaal (RTS Building Information Foundation, Finland, Environmental Reporting for Building Materials, 1998-2001, http://www.rts.fi/ymparistoseloste/valid_declarations.htm) (Deel 2).....	122

2. Samenvatting

Door de toenemende aandacht voor de klimaatproblematiek en de daaraan gekoppelde stimulansen voor hernieuwbare energiebronnen is het gebruik van biologisch afval als brandstof versterkt in de belangstelling gekomen. Een belangrijk voordeel van het gebruik van biologisch afval als brandstof is dat de verbranding van biologisch afval als CO₂-neutraal wordt beschouwd. In tegenstelling tot bij fossiele brandstoffen is de CO₂ die vrijkomt bij verbranding van biologisch afval relatief kort geleden aan de atmosfeer onttrokken, toen het tijdens de groei van de biomassa werd vastgelegd in het organisch materiaal. Door biologische afvalstoffen in plaats van fossiele brandstoffen in te zetten voor de productie van elektriciteit of warmte, wordt dus minder CO₂ uitgestoten. Ook 'materiaalvalorisatie' van biologisch afval kan zorgen voor een verminderde CO₂-uitstoot. Bij recyclage worden immers de CO₂-emissies voor de productie van een equivalente hoeveelheid nieuw of alternatief materiaal vermeden en blijft de koolstof langer in het materiaal opgeslagen.

Deze studie werd uitgevoerd in opdracht van de VMM en heeft tot doel een beter inzicht te verwerven in de milieu-impact van de verwerking van biologisch afval in het algemeen en niet-verontreinigd houtafval in het bijzonder. Hierbij werd gefocust op CO₂-emissies. Voor biologisch afval werden de vermeden CO₂-emissies berekend voor de verdeling over de verwerkingsroutes voor energetische valorisatie in 2005. Voor niet-verontreinigd houtafval werden de vermeden CO₂-emissies voor verschillende energetische valorisatie-opties in 2008 berekend en vergeleken met de CO₂-emissies die worden vermeden door verschillende materialen te vervangen door spaanplaten vervaardigd uit houtafval. Met de methode van de onrendabele top werd voor elektriciteitsproductie op basis van houtafval nagegaan of de opties met de grootste CO₂-reductie in 2008 ook het meest worden ondersteund.

Een aantal belangrijke bevindingen in verband met de verwerking van biologisch afval in 2005:

- Ongeveer driekwart van het biologisch afval dat in 2005 werd verwerkt in Vlaanderen ging naar recyclage, ongeveer een vijfde werd ingezet voor de productie van warmte en elektriciteit.
- Ongeveer 618 GWh elektriciteit of 64 % van de groene stroom werd opgewekt door energetische valorisatie van biologisch afval. Meer dan de helft daarvan werd opgewekt door bijstook in steenkoolcentrales.
- Er werd 1 851 GWh warmte opgewekt op basis van biologisch afval. Vier vijfde daarvan werd opgewekt via verbranding van houtafval.
- Er werd iets meer CO₂ vermeden door productie van warmte op basis van biologisch afval (576 kton CO₂) dan door productie van elektriciteit (451 kton CO₂).
- De grootste CO₂-reductie, zo'n 536 kton CO₂, werd gerealiseerd door warmteproductie in industriële stookinstallaties. De tweede grootste CO₂-reductie, ongeveer 315 kton CO₂, werd gerealiseerd door bijstook in steenkoolcentrales.
- In totaal werd 1,03 Mton CO₂ vermeden door energetische valorisatie van biologisch afval. Dit komt overeen met 1,2 % van de totale uitstoot van broeikasgassen in Vlaanderen in 2005.

In verband met de verwerking van niet-verontreinigd houtafval worden hieronder een aantal belangrijke bevindingen voor 2008 opgelijst. Het is hierbij belangrijk te noteren dat de weergegeven cijfers met betrekking tot valuta en (vermeden) CO₂ emissies enkel dienen ter vergelijking en niet als absolute cijfers uit hun context mogen gerukt worden. Ze zijn immers berekend voor de waarden die geldig zijn in het jaar 2008 en vertegenwoordigen als dusdanig een momentopname.

- Met stookolie als referentie-brandstof voor warmteproductie geeft in 2008 energetische valorisatie in een partikuliere stookinstallatie de grootste CO₂-reductie per ton hout (1,33 ton CO₂/ton hout). Er is echter niet veel verschil met de CO₂-reductie door energetische valorisatie in een WKK met hoog aandeel elektriciteit (geproduceerde elektriciteit/geproduceerde warmte = 0,5) (1,28 ton CO₂/ton hout) en de CO₂-reductie door bijstook in een steenkoolcentrale (1,26 ton CO₂/ton hout).
- Met aardgas als referentie-brandstof voor warmteproductie heeft in 2008 bijstook in een steenkoolcentrale de hoogste CO₂-reductie per ton hout (1,26 ton CO₂/ton hout). De CO₂-reductie door energetische valorisatie in een WKK komt dan op de tweede plaats met 1,05 ton CO₂/ton hout. Energetische valorisatie in een elektriciteitscentrale op biomassa komt op de derde plaats met 0,99 ton CO₂/ton hout.
- Per MWh elektriciteit heeft in 2008 een WKK de laagste CO₂-uitstoot (27 kg CO₂/MWh), op de voet gevolgd door een elektriciteitscentrale op biomassa (37 kg CO₂/MWh). De uitstoot van een steenkoolcentrale met 10 % bijstook is in 2008 ongeveer twintig keer hoger (777 kg CO₂/MWh).
- Er dient genoteerd dat de werkelijke CO₂-reductie door bijstook van houtafval in steenkoolcentrales veel lager kan zijn dan hier berekend. Door bijstook neemt het verschil in productiekosten tussen bestaande steenkoolcentrales en STEG's immers toe, en dit kan er op korte termijn voor zorgen dat het aantal draaiuren van steenkoolcentrales toeneemt ten koste van het aantal draaiuren van STEG's. Op lange termijn – bij uitbreiding van het elektriciteitspark of bij vervanging van een oude STEG – kan de verlaagde operationele kost aanleiding geven tot uitbreiding van het aandeel elektriciteitsproductie op basis van steenkool. De mogelijkheid bestaat zelfs dat de CO₂-reductie door bijstook wordt tenietgedaan. In 2008 waren alle steenkoolcentrales in Vlaanderen uitgerust met bijstook. Indien het aandeel steenkoolcentrales met bijstook in de elektriciteitsproductie op basis van steenkoolcentrales en STEG's in de toekomst met 24 % zou stijgen ten opzichte van het geval zonder bijstook wordt de CO₂-reductie door 10 % bijstook van houtafval volledig tenietgedaan. De CO₂-emissies per MWh van een steenkoolcentrale met 10 % bijstook zijn immers nog altijd 81 % hoger dan die van een STEG. Het risico bestaat, maar of het zich werkelijk voordoet en hoe het kan vermeden worden kan enkel uit een dynamische analyse van het elektriciteitspark blijken wat geen onderdeel is van deze studie.
- Er werd een belangrijk effect van de prijs van de biomassa op de onrendabele top van verschillende technologieën vastgesteld. Voor een WKK met hoge brandstofbenuttingsgraad bedroeg het verschil tussen de onrendabele top op basis van de prijs van houtafval en op basis van de prijs van houtpellets in 2008 € 73 /MWh. Voor een nieuwe steenkoolcentrale (SKC) met 30 % bijstook bedroeg dit verschil in 2008 € 46 /MWh en voor een elektriciteitscentrale op biomassa € 61 /MWh. De steunbedragen uit 2008 sluiten het best aan bij de onrendabele top indien houtpellets worden aangewend. De elektriciteitsproducenten zijn echter niet verplicht houtpellets te gebruiken en in

de praktijk worden vaak veel goedkopere brandstoffen gebruikt. Hoewel de prijzen van verschillende soorten biomassa zeer volatiel zijn, en dus moeilijk te voorspellen, zal houtafval wel altijd goedkoper zijn dan houtpellets. Verdere differentiatie van de steun, niet o.b.v. technologie alleen maar wel o.b.v. de combinatie van brandstof en technologie, dringt zich bijgevolg op. Bovendien is het uiterst belangrijk dat bij verdere differentiatie regelmatig controles worden uitgevoerd op de werkelijk gebruikte brandstof en dat, in geval er veel goedkopere brandstoffen worden gebruikt dan op basis waarvan het steuntarief werd bepaald, boetes kunnen worden opgelegd. Zolang er echter geen goede en betrouwbare prijsindices voor houtafval zijn, is het zeer moeilijk om te corrigeren voor verschillen in brandstofkosten a.h.v. subsidiëtarieven. Indien differentiatie praktisch niet haalbaar is, moet ten allen prijze vermeden worden dat de onrendabele top voor verschillende technologieën met een verschillende brandstofprijs wordt berekend. Wanneer de steun voor elektriciteitscentrales op biomassa wordt bepaald op basis van de prijs voor houtpellets en de steun voor WKK op basis van de prijs voor houtafval (cfr. Moorkens, 2010), zullen dure hoogwaardige houtpellets in de praktijk richting biomassacentrales worden gestuurd, terwijl WKK operatoren zullen genoodzaakt zijn zich te beperken tot goedkope minderwaardige brandstoffen of in het slechtste geval met onvoldoende aanbod zullen geconfronteerd worden.

- Het Nederlandse subsidieregime komt in 2008, met lagere subsidiëtarieven dan in Vlaanderen, tot een investeringsklimaat waarbij technologieën met lage CO₂-emissies per MWh geproduceerde elektriciteit, zoals een WKK, worden bevoordeeld. Dit is louter toevallig aangezien in Nederland ook geen rekening wordt gehouden met de milieuperformantie in termen van CO₂-emissies. De lagere subsidiëtarieven in Nederland zijn vooral een gevolg van het feit dat de tarieven jaarlijks worden aangepast in functie van de geldende elektriciteitsprijs. Hierdoor blijft de rendabiliteit van de investering constant, terwijl de subsidiekosten bij hoge elektriciteitsprijzen dalen. Het moet echter mogelijk zijn om naast de onrendabele top ook rekening te houden met de CO₂-reductie bij het bepalen van het steunniveau. Het kan immers niet de bedoeling zijn dat technologieën met een lage efficiëntie, en dus lage CO₂-reductie, en een hoge onrendabele top meer ondersteund worden dan technologieën met een hoge efficiëntie, en dus hoge CO₂-reductie, en een lage onrendabele top. Dit kan tijdelijk wel voor zeer innoverende projecten, maar langdurige ondersteuning van mature technologieën met een lage CO₂-reductie dient vermeden te worden.
- In het algemeen moeten de CO₂-emissies bij recyclage in 2008 gemiddeld minstens 1 ton CO₂/ton houtafval lager liggen dan bij productie van een biologisch referentiemateriaal (dat zorgt voor CO₂ opslag) om een CO₂-reductie door recyclage te bekomen. De initiële emissies (door warmteproductie uit fossiele brandstoffen) die in het recyclage-scenario optreden wegen immers zwaar door. In de praktijk zal het bijgevolg meestal beter zijn het houtafval energetisch te valoriseren indien het recyclageproduct een biologisch referentiemateriaal zou vervangen. Met geïmporteerde spaanplaat of producten op basis van vers hout, zoals OSB, triplex of rondhout als alternatief voor Belgische spaanplaat in de meubelindustrie, kan in 2008 gemiddeld 0,54 tot 0,76 ton CO₂ per ton houtafval vermeden worden door energetische valorisatie.
- Met een niet-biologisch referentiemateriaal mogen de CO₂-emissies bij productie van het recyclageproduct in 2008 0,06 ton CO₂/ton houtafval hoger liggen dan bij productie van het referentiemateriaal doordat aan het referentiemateriaal geen CO₂-opslag kan toegekend worden. Gezien de meestal

hogere emissies bij productie van niet-biologische referentiematerialen kan bij vervanging van deze materialen door spaanplaat wel een CO₂-reductie worden bekomen door recyclage ten opzichte van energetische valorisatie. Met gipsplaat als alternatief voor spaanplaat in de bouw kan in 2008 gemiddeld 0,35 ton CO₂ per ton houtafval vermeden worden door recyclage ten opzichte van energetische valorisatie.

- Emissies van CO, vluchtige organische stoffen en zware metalen bij recyclage van houtafval tot spaanplaten zijn vaak hoger dan bij de productie van de referentiematerialen op basis van vers hout en gipsplaat. Emissies van SO₂, NO_x en methaan liggen dan weer meestal lager.
- Indien alle afvalhout dat in 2005 gerecycleerd werd, moet vervangen worden door vers hout is een additioneel bosoppervlak vereist van 233 000 ha. Dit komt overeen met een 17 % van de oppervlakte van Vlaanderen.

Tot slot werden een aantal onderwerpen voor verder onderzoek geïdentificeerd:

- Deze studie baseert zich op de situatie voor niet-verontreinigd houtafval in 2008. De evoluties met betrekking tot biomassa, en houtafval in het bijzonder, gaan echter enorm snel. Daarom is het aangewezen om deze studie regelmatig te actualiseren en verder te verdiepen, bij voorkeur in combinatie met de berekening van de onrendabele top.
- Er werd geen dynamische analyse van het elektriciteitspark uitgevoerd zodat de vermeden CO₂ door elektriciteitsproductie op basis van biologisch afval slechts met een beperkte nauwkeurigheid kon bepaald worden. Uit een dynamische analyse moet blijken in hoeverre de CO₂-reductie door bijstook van houtafval in steenkoolcentrales wordt tegengegaan door verschuivingen in het elektriciteitspark ten gevolge van deze bijstook. Een gelijkaardige analyse moet toelaten om ook voor warmteproductie de vermeden CO₂ nauwkeuriger te bepalen.
- In deze studie werd noodgedwongen op CO₂-emissies gefocust. Uitgebreide meetcampagnes volgens gestandaardiseerde procedures moeten het in de toekomst mogelijk maken om de milieu-impact van de verschillende opties van energetische valorisatie van houtafval ook voor andere emissies kwantitatief te evalueren.
- De berekende onrendabele toppen voor elektriciteitsproductie op basis van houtafval dienen vergeleken te worden met de onrendabele toppen voor zuivere warmteproductie en recyclage tot spaanplaten om te bepalen of ondersteuning van warmteproductie of recyclage nodig is. Aanvulling van de onrendabele toppen met andere parameters zoals CO₂-reductie bij de bepaling van het steunniveau moet vermijden dat minder rendabele investeringen met een hoge CO₂-emissie meer worden ondersteund dan meer rendabele investeringen met een lage CO₂-emissie.
- Een belangrijk aspect in het vergelijken van energetische valorisatie en recyclage van houtafval is de bepaling van een equivalente hoeveelheid van een bepaald referentiemateriaal om het recyclageproduct in geval van energetische valorisatie te vervangen. Deze equivalente hoeveelheid kan sterk variëren naargelang de toepassing en het gekozen referentiemateriaal. Vooral voor niet-biologische materialen is het belangrijk dat hier verder onderzoek op wordt verricht aangezien substitutie van deze materialen door recyclageproducten op basis van houtafval aanleiding kan geven tot een hogere CO₂-reductie vergeleken met energetische valorisatie.

3. Probleemstelling

3.1. Introductie

Biologisch afval is de biologisch afbreekbare fractie van het afval van huishoudens en bedrijven. Biologische afvalstromen kunnen op verschillende manieren worden verwerkt, afhankelijk van de samenstelling en de energie-inhoud. Enerzijds is er dikwijls mogelijkheid tot energetische valorisatie. Afval van de voedingsindustrie kan bijvoorbeeld worden vergist tot biogas dat bij verbranding in een motor kan omgezet worden in elektriciteit. Houtafval kan worden ingezet voor warmteproductie in stookinstallaties, voor elektriciteitsproductie in steenkoolcentrales, of voor warmte- en elektriciteitsproductie in WKK's. Anderzijds is er voor bepaalde biologische afvalstromen ook mogelijkheid tot 'materiaalvalorisatie': via o.a. recyclage of hergebruik worden materialen uit het afval gerecupereerd. Zo wordt houtafval gerecycleerd in de spaanplaatindustrie, zijn gebruikte frituurvetten- en oliën een grondstof voor de oleochemie, enz.

Door de toenemende aandacht voor de klimaatproblematiek en de daaraan gekoppelde stimulansen voor hernieuwbare energiebronnen is het gebruik van biologisch afval als brandstof versterkt in de belangstelling gekomen. Een belangrijk voordeel van het gebruik van biologisch afval als brandstof is de aanname dat de verbranding van biologisch afval CO₂-neutraal is. In tegenstelling tot bij fossiele brandstoffen is de CO₂ die vrijkomt bij verbranding van biologisch afval relatief kort geleden aan de atmosfeer onttrokken, toen het tijdens de groei van de biomassa werd vastgelegd in het organisch materiaal. Door biologische afvalstoffen in plaats van fossiele brandstoffen in te zetten voor de productie van elektriciteit en/of warmte, wordt dus minder CO₂ uitgestoten. Daarom ondersteunt de overheid het gebruik van biomassa, inclusief biologisch afval, voor elektriciteitsproductie via de toekenning van groenestroomcertificaten (GSC).

Niet elke vorm van energetische valorisatie op basis van biologisch afval zorgt echter voor een even grote CO₂-reductie. Bovendien kan ook materiaalvalorisatie aanleiding geven tot een verminderde CO₂-uitstoot. Bij recyclage worden immers de CO₂-emissies voor de productie van een equivalente hoeveelheid nieuw/alternatief materiaal vermeden en blijft de koolstof langer in het materiaal opgeslagen. Voor het klimaatbeleid is het dus van belang om voor elke biologische afvalstroom te weten welke verwerkingsoptie de grootste CO₂-reductie oplevert.

Het milieubeleid moet uiteraard niet alleen rekening houden met CO₂-uitstoot. Als nadeel tegenover de CO₂-neutraliteit staat dat bij verbranding van biologische afvalstoffen meer stof, NO_x, producten van onvolledige verbranding en andere emissies zoals zware metalen en dioxines kunnen vrijkomen dan bij verbranding van bepaalde fossiele brandstoffen zoals aardgas. Ook bij recyclage van biologisch afval moeten deze andere emissies in rekening gebracht worden. Bij vergelijking van verschillende verwerkingsroutes moet tot slot ook de nodige aandacht besteed worden aan emissies te wijten aan het transport van het afval naar de verwerkingsinstallatie.

3.2. Doelstelling

Het algemene opzet van deze studie is inzicht te verwerven in de milieu-impact van de verwerking van biologisch afval in het algemeen en niet-verontreinigd houtafval in het bijzonder.

Een eerste doelstelling van deze studie is alle biologische afvalstromen en de verdeling over de verschillende verwerkingsroutes in kaart te brengen. Deze analyse werd uitgevoerd voor de toestand in 2005. Een tweede doelstelling is na te gaan hoeveel CO₂-emissies werden vermeden door de energetische valorisatie van biologisch afval. Deel 4 van dit rapport geeft een beeld van hoeveel biologisch afval er in 2005 was, hoe het werd verwerkt, hoeveel elektriciteit en warmte ermee werd geproduceerd en hoeveel CO₂-emissies hiermee werden vermeden.

Een derde doelstelling is specifiek voor de afvalstroom niet-verontreinigd houtafval de milieu-impact van verschillende opties van energetische valorisatie en recyclage te vergelijken. Opties van energetische valorisatie met elektriciteitsopwekking worden ondersteund door onder andere groenestroomcertificaten. Een vierde doelstelling is om met de methode van de onrendabele top voor deze opties na te gaan of de opties met de grootste CO₂-reductie ook het meest worden ondersteund. De Vlaamse situatie in 2008 wordt tevens vergeleken met de Nederlandse (in hetzelfde jaar) waar gelijkaardige steunmaatregelen geïmplementeerd zijn. Doelstelling drie en vier worden uitgewerkt in deel 5 van dit rapport.

3.3. Afbakening

Biologische afvalstromen kunnen op verschillende manieren worden verwerkt. De keuze voor een bepaalde verwerkingswijze wordt beïnvloed door tal van factoren en beleidsdomeinen. Het afvalbeleid stuurt afvalstromen bij voorkeur naar materiaalrecuperatie, maar laat in bepaalde gevallen ook energetische valorisatie toe. Het milieubeleid legt specifieke emissiegrenswaarden op. Het energiebeleid duwt biologische afvalstromen richting energetische valorisatie, mede gesteund door het klimaatbeleid dat omwille van Kyotoverplichtingen (en daaraan gerelateerde Europese doelstellingen) streeft naar reductie van broeikasgasemissies. De expliciete Europese hernieuwbare energiedoelstelling stimuleert de inzet van hernieuwbare energiebronnen, waaronder biomassa'stromen. Het systeem van de groenestroomcertificaten (GSC) werd opgezet met het oog op de realisatie van deze Europese energiedoelstelling. Bovendien wil het energiebeleid energiediversificatie, waarbij zoveel mogelijk verschillende energiebronnen worden ingezet, en een verhoogde energie-onafhankelijkheid die de leveringszekerheid ten goede komt. Dat brengt ons meteen ook bij de beschikbaarheid en prijzen van brandstoffen en primaire grondstoffen. In realiteit streeft men naar kostenefficiëntie en is de uiteindelijke keuze steeds het resultaat van een economische optimalisatie waarop de verschillende beleidsdomeinen kunnen inspelen via financiële steunmaatregelen om het ene alternatief t.o.v. het andere te bevoordelen. Uiteraard vormen de technische beperkingen van de verschillende technologieën de randvoorwaarden waarbinnen men moet werken.

Een alomvattende vergelijking van verschillende verwerkingsopties moet dit volledige gamma van invloedsfactoren in rekening brengen. Deze studie beschouwt echter maar één van deze aspecten, niet omdat de andere aspecten niet relevant zouden zijn, integendeel, maar omdat het een *milieustudie* is. Vanuit milieu-oogpunt – de invalshoek van deze studie – is het van belang om voor iedere biologische

afvalstroom de milieu-impact van de verschillende verwerkingswijzen te kennen. Deel 5 van dit rapport vergelijkt de milieu-impact van de verschillende verwerkingsmogelijkheden voor één specifieke biologische afvalstroom: onbehandeld en behandeld niet-verontreinigd houtafval, en dit voor de situatie in 2008. Niet-verontreinigd houtafval is een grote afvalstroom die kan ingezet worden voor zowel energetische valorisatie als materiaalrecyclage. De conclusies van deze studie moeten dan ook in deze milieucontext gezien worden.

De milieu-impact wordt in deze studie *beperkt tot de studie van CO₂-emissies*. Kwantitatieve evaluatie van de milieu-impact van andere emissies dan CO₂ is voor de verschillende opties van energetische valorisatie niet opgenomen in deze studie. Vele van deze emissies zullen sterk afhangen van de aard van de afvalstroom en vooral van de gebruikte rookgasreinigingstechnologie. De milieu-impact van deze emissies moet bijgevolg op basis van gemiddelde meetgegevens per technologie-afvalstroom combinatie geanalyseerd worden. Voor de meeste verwerkingsopties van biologisch afval en houtafval in het bijzonder zijn er echter onvoldoende meetgegevens van andere emissies voorhanden. Voor recyclage in spaanplaten zijn wel andere emissies voorhanden en deze zullen vergeleken worden met de emissies van een aantal andere materialen.

Deze studie beoogt *geen volledige levenscyclusanalyse (LCA)*. Wat dan wel? Kunnen we hier een naam op kleven? Wat zijn de belangrijkste verschillen met LCA? In deze studie zijn alle CO₂-emissies van afvalverwerking en voorbehandeling meegenomen. Een kwantitatieve evaluatie van de CO₂-emissies gekoppeld aan productie en transport van biologisch afval zijn niet in deze studie opgenomen. Deze emissies zullen sterk afhangen van de locatie van de verwerkingsinstallatie. Om verschillende types verwerkingsinstallaties te kunnen vergelijken moet bijgevolg per type verwerkingsinstallatie de gemiddelde transportafstand gekend zijn. Dit is voor de meeste verwerkingsinstallaties niet het geval. Bij biologisch afval werden geen emissies voor transport in rekening gebracht (deel 4 van dit rapport). Voor transport en voorbehandeling van houtafval werd voor alle opties eenzelfde emissie in rekening gebracht (deel 5 van dit rapport). Specifiek voor houtafval afkomstig van de Vlaamse markt kan aangetoond worden dat het meenemen van transportemissies slechts een beperkte invloed zal hebben op de totale CO₂-emissies (§ 0). CO₂-emissies gekoppeld aan winning en transport van fossiele brandstoffen (wat typisch een wereldmarkt is) werden wel ten volle meegenomen aangezien deze voor een Vlaamse context nauwelijks afhankelijk zijn van de locatie. CO₂-emissies ten gevolge van bouw, onderhoud en ontmanteling van installaties werden niet meegenomen.

Elke studie in een snel veranderende context zoals deze van biomassa is gedoemd om reeds gedateerd te zijn bij publicatie. Dit geldt niet alleen voor deze studie, maar ook voor de studies waarnaar dit rapport verwijst (o.a. Moorkens et al. (2005) en Van Tilburg et al. (2007)), en wellicht ook voor de studies die na dit rapport zullen komen. Deze studie beoogt daarom vooral een nieuwe benadering te schetsen aan de hand van de situatie in 2008. Deze nieuwe benadering is aanvullend aan de benadering die gebruikt wordt in studies uitsluitend gebaseerd op onrendabele toppen (bv. Moorkens et al., 2005). Om de toegevoegde waarde van dit rapport ten volle te benutten is het echter noodzakelijk dat ze op regelmatige basis geactualiseerd wordt, net zoals dit gebeurt met de onrendabele top studies.

In deze studie werd (bij keuze van aannames) steeds uitgegaan van *de meest conservatieve benadering*. Op die manier zijn de conclusies algemeen geldig binnen

de gehanteerde milieucontext. Er worden geen uitspraken gedaan over of nieuwe suggesties gedaan voor energiebeleid en/of klimaatbeleid. Deze worden als gegeven verondersteld.

Er waren onvoldoende kostendata voorhanden om de onrendabele top te berekenen voor de verschillende verwerkingsopties van houtafval met enkel warmteproductie en voor materiaalrecyclage. Bijgevolg werd *de onrendabele top enkel berekend voor verwerkingsopties met elektriciteitsproductie en gecombineerde productie van elektriciteit en warmte*.

3.4. Aannames en uitgangspunten

3.4.1. Inventaris biologisch afval

Tabel 22 in bijlage geeft een overzicht van de hoeveelheden en verwerkingwijzen van biologisch afval in 2005. Dit overzicht is grotendeels gebaseerd op de 'Inventarisatie biomassa 2005' (OVAM, 2007a). Voor verschillende stromen, onder andere groenafval van bedrijven, bermmaaisel, organisch-biologisch bedrijfsafval, ... zijn de hoeveelheden voor 2005 niet of onvoldoende nauwkeurig gekend. Voor deze stromen werden, waar mogelijk, schattingen uit andere studies overgenomen. In de rest van het rapport verwijzen we naar dit overzicht als 'de inventaris'. Mest wordt in Vlaanderen niet geklasseerd onder de noemer afvalstof en wordt verder niet beschouwd.

Op basis van de inventaris en gemiddelde netto-rendementen werden de geproduceerde stroom en warmte berekend (Tabel 23 in bijlage). Door de onvolledigheid van de inventaris en het feit dat er met gemiddelde rendementen wordt gewerkt, is het onmogelijk om een nauwkeurig beeld te krijgen van de geproduceerde groene stroom en warmte op basis van de inventaris. Daarom werd de op basis van de inventaris berekende groene stroom vergeleken en aangevuld met cijfers van de VREG over het aantal toegekende GSC. De VREG reikt per 1000 kWh netto geproduceerde groene stroom één GSC uit. Het aantal toegekende GSC geeft wél een volledig en nauwkeurig beeld van de groenestroomproductie. De vermeden CO₂-uitstoot door de productie van elektriciteit op basis van biologisch afval werd dan ook enkel berekend op basis van het aantal toegekende GSC.

Concrete cijfers over warmteproductie op basis van biologisch afval in WKK werden niet teruggevonden en konden dan ook niet meegenomen worden in de bespreking.

3.4.2. CO₂-neutraliteit verbranding biologisch afval

Voor de productie en verdere verwerking van gewassen (teelt, grondbewerking, meststoffen en pesticiden, ...) waarvan uiteindelijk een deel zal overblijven als biologisch afval is ook een hoeveelheid primaire energie nodig, meestal in de vorm van fossiele brandstoffen. Dit zal dus ook een zekere CO₂-emissie met zich meebrengen. Om een correcte inschatting te maken van het broeikasgasemissiereductiepotentieel moet de volledige levenscyclus bekeken worden. Bovendien moet ook rekening gehouden worden met het alternatief grondgebruik. Het vervangen van een bos door bijvoorbeeld een koolzaadveld is zeker niet CO₂-neutraal. Een bos vertegenwoordigt immers een groter koolstofreservoir dan een koolzaadveld. Deze beschouwingen vallen echter buiten het opzet van deze studie, zodat ook hier (benaderend) wordt aangenomen dat de energetische valorisatie van biologisch afval CO₂-neutraal is. Het eventueel niet

CO₂-neutraal zijn van de verbranding van een bepaalde stroom biologisch afval zal ervoor zorgen dat de werkelijk gerealiseerde CO₂-reductie kleiner is, maar het zal niets veranderen aan de relatieve verhouding van de CO₂-emissies van verschillende verwerkingsroutes.

3.4.3. Verschil CO₂-emissies en CO₂-equivalente emissies

Voor de meeste verwerkingsopties van biologisch afval zijn er onvoldoende meetgegevens van andere broeikasgasemissies voorhanden. Bij de meeste opties van energetische valorisatie kan er echter wel vanuit gegaan worden dat andere gevormde broeikasgassen, zoals methaan en N₂O, door verbranding volledig worden omgezet naar respectievelijk CO₂ en NO_x en er dus behalve CO₂ geen andere broeikasgassen vrijkomen. Indien in de praktijk geen volledige verbranding optreedt zou men kunnen stellen dat de berekende CO₂-emissies een onderschatting geven van de werkelijke CO₂-equivalente emissies. Bij onvolledige verbranding zal echter ook een deel CO gevormd worden in plaats van CO₂ waardoor de werkelijke CO₂-emissie lager zal zijn dan berekend op basis van het rendement. Of de verlaagde CO₂-emissie bij onvolledige verbranding opweegt tegen de emissie van methaan of N₂O (met een hogere *Global Warming Potential* (GWP)) kan enkel op basis van meetdata per installatie bepaald worden. Er kan bijgevolg niet a priori gesteld worden dat de op basis van het rendement berekende CO₂-emissies altijd lager zullen zijn dan de werkelijke CO₂-equivalente emissies.

3.4.4. Gebruikte rendementen van installaties op biologisch afval en houtafval

Rendementen gebruikt in deel 4:

Voor de berekening van de geproduceerde elektriciteit en warmte op basis van biologisch afval via afvalverbrandingsinstallaties werd in deze studie gerekend met een gecombineerd elektrisch en thermisch rendement van respectievelijk 11 % en 15 % (Aernouts & Jespers, 2009). Voor een steenkoolcentrale met bijstook van houtachtige afvalstoffen werd gerekend met een gemiddeld elektrisch rendement van 36,5 % (Tabel 26 in bijlage). Een stookinstallatie op houtachtige afvalstoffen heeft een gemiddeld thermisch rendement van 90,4 % (Tabel 26 in bijlage). Vergist GFT-afval genereert typisch 90 kWh elektriciteit per ton GFT (Brinkmann, 2000). Met een energie-inhoud van GFT van 3,7 GJ/ton komt dit overeen met een rendement van 8,7 %. Dit zijn netto-rendementen, met andere woorden procesverliezen zitten impliciet in het rendement verwerkt. Bij afvalverbrandingsinstallaties gaat bijvoorbeeld een groot gedeelte van de warmte naar het proces, inclusief rookgasreiniging, en gaat er soms warmte verloren omdat er niet altijd mogelijkheid is voor afzet aan derden. Hierdoor is het gemiddelde netto-rendement laag. Wat afvalverbrandingsinstallaties betreft, kan er ook geargumenteed worden dat de hoofdfunctie niet warmte- of elektriciteitsproductie is maar afvalverwerking, en dat de procesverliezen dus voor een groot deel aan de functie afvalverwerking moeten toegewezen worden. Met deze argumentatie is echter geen rekening gehouden in deze studie.

Rendementen gebruikt in deel 5:

Rendementen voor installaties op houtafval kunnen in Tabel 26 in bijlage teruggevonden worden. Voor deze installaties werd telkens het gemiddelde genomen van het minimale en maximale rendement van bestaande installaties. Voor houtafval in afvalverbrandingsinstallaties is gerekend met typische

rendementen met enkel elektriciteitsproductie. De optie vergassing en bijstook in STEG-centrale werd ook meegenomen. Deze technologie werd reeds gevalideerd voor installaties van enkele MW (Larson, 2001). Het blijft echter wachten op commerciële toepassingen met hogere vermogens.

3.4.5. Gebruikte rendementen en emissiefactoren referentie-installatie

Waar het gemiddeld elektriciteitspark als referentie werd genomen, werd de emissiefactor genomen voor het gemiddeld Belgisch elektriciteitspark zonder kerncentrales. Deze bedraagt 0,6484 kton CO₂ per GWh of 0,180 ton CO₂ per GJ elektriciteit (Aernouts & Jespers, 2007). Voor installaties op basis van fossiele brandstoffen werden de overeenkomstige emissiefactoren van de fossiele brandstoffen gebruikt. In deze emissiefactoren zijn, naast de verbrandingsemissies, ook de CO₂-emissies gekoppeld aan de productie en het transport van de brandstoffen opgenomen (Tabel 26 in bijlage). Gebruikte rendementen van installaties op fossiele brandstoffen kunnen in Tabel 26 in bijlage teruggevonden worden. Voor deze installaties werd telkens het gemiddelde genomen van het minimale en maximale rendement van bestaande installaties.

3.4.6. Keuze referentie-installatie voor berekening CO₂-reductie stroom uit biologisch afval

Wanneer een hoeveelheid groene stroom op het elektriciteitsnet wordt gebracht, zal de belasting van andere elektriciteitscentrales, meestal op fossiele brandstoffen, verlaagd worden. Welke elektriciteitscentrales hun belasting zullen verlagen en hoeveel CO₂-emissies bijgevolg worden vermeden, zal afhangen van een economische optimalisatie enerzijds en technische randvoorwaarden anderzijds. Een economische optimalisatie zal bepalen waar een elektriciteitscentrale zich bevindt in de stapeling van elektriciteitscentrales van het Belgische elektriciteitspark. De goedkoopste centrales (op basis van operationele kost) zitten helemaal onderaan de stapeling en voor deze centrales is de kans praktisch onbestaande dat hun belasting verlaagd wordt bij injectie van een beperkte hoeveelheid groene stroom op het net. Technische randvoorwaarden zullen bijvoorbeeld bepalen in hoeverre de belasting van een bepaalde elektriciteitscentrale kan verlaagd worden alvorens ook de belasting van een elektriciteitscentrale wordt verlaagd die lager in de stapeling is gelegen. De belasting van een elektriciteitscentrale kan immers niet eindeloos verlaagd worden.

Onderaan in de stapeling bevinden zich de nucleaire centrales die altijd voor basislast zullen zorgen. Dit betekent dat de productie van groene stroom op basis van biologisch afval geen invloed zal uitoefenen op de draaiuren van de nucleaire centrales, maar enkel de belasting van de centrales die hoger in de stapeling zitten, nl. steenkoolcentrales en gascentrales, zal beïnvloeden. Waar het gemiddeld elektriciteitspark als referentie werd genomen, werd dan ook de emissiefactor genomen voor het gemiddeld Belgisch elektriciteitspark zonder kerncentrales. De oliegestookte centrales worden enkel ingezet om piekbelastingen op te vangen en zullen slechts een beperkt aandeel in deze emissiefactor hebben. De vermeden CO₂-emissies door verandering in de belasting van oliegestookte centrales worden dan ook verder niet beschouwd. Op basis van een analyse van de belangrijkste operationele kosten (zie bijlage § 7.1.1.) kan afgeleid worden dat de steenkoolcentrales zich in de stapeling boven de kerncentrales zullen situeren en helemaal bovenaan bevinden zich de gascentrales. Steenkoolcentrales met

mogelijkheid tot bijstook van biomassa of zuivere biomassacentrales zullen zich onder de gewone steenkoolcentrales bevinden (zie bijlage § 7.1.1.).

In de veronderstelling dat de bijstook van biologisch afval geen invloed heeft op het aantal draaiuren van een steenkoolcentrale zal bij bijstook van biologisch afval in bestaande steenkoolcentrales door de lagere plaats van de steenkoolcentrales in de stapeling de biomassa altijd in de plaats komen van steenkool. Daardoor zal de bijstook van biomassa in een bestaande steenkoolcentrale niet de emissies van een gascentrale vermijden ($428 \text{ ton CO}_2/\text{GWh}^1$), maar wel de emissies van een steenkoolcentrale ($860 \text{ ton CO}_2/\text{GWh}^2$) en bij deze verwerkingsoptie moet bijgevolg ook een steenkoolcentrale als referentie worden genomen. De situatie is mogelijk anders wanneer een nieuwe steenkoolcentrale met bijstook wordt beschouwd. Een nieuwe steenkoolcentrale met bijstook kan in de plaats komen van een oude steenkoolcentrale, maar door de hogere plaats in de stapeling van een gascentrale, kan die evenzeer een gascentrale vervangen. Omwille van het lage rendement van oude steenkoolcentrales, het relatief hoge rendement van oude gascentrales en omwille van behoud van diversiteit in elektriciteitsproductie, is de kans in 2008 echter groter dat een nieuwe steenkoolcentrale een oude steenkoolcentrale zal vervangen en dus door bijstook in een nieuwe steenkoolcentrale eveneens de CO_2 -emissies van steenkool worden vermeden. Bij de berekening van de CO_2 -reductie door bijstook in een steenkoolcentrale werd bijgevolg in alle gevallen (bijstook in zowel oude als nieuwe installaties) een steenkoolcentrale als referentie genomen. Voor zuivere biomassacentrales werd eveneens een steenkoolcentrale als referentie genomen.

Het feit dat het verschil in marginale kosten van elektriciteitsproductie tussen een steenkoolcentrale en een STEG toeneemt met 34 % bij 10 % bijstook ten opzichte van het geval zonder bijstook (§ 7.1.1) kan er op korte termijn echter voor zorgen dat het totaal aantal draaiuren van steenkoolcentrales wel zal toenemen ten koste van het aantal draaiuren van STEG-centrales, waardoor de veronderstelling in vorige paragraaf onwaar zou worden. Hierdoor zal de werkelijke CO_2 -reductie lager liggen dan de berekende CO_2 -reductie met steenkool als referentiebrandstof. Een belangrijke randvoorwaarde hierbij is dat het aantal draaiuren van de steenkoolcentrales technisch nog kan stijgen ten opzichte van het geval zonder bijstook. Op lange termijn kan de verlaagde marginale kost aanleiding geven tot uitbreiding van het aandeel van de elektriciteitsproductie op basis van steenkool door het vervangen van oude gascentrales door nieuwe steenkoolcentrales, indien de lagere marginale kosten opwegen tegen de hogere investeringskosten, en bestaat zelfs de mogelijkheid dat de CO_2 -reductie door bijstook van biologisch afval wordt teniet gedaan (§ 7.1.1). Omwille van de wens voor diversiteit in brandstoffen, is een volledige omschakeling van STEGs naar steenkoolcentrales uitgesloten, maar een stijging van het aandeel van steenkoolcentrales in de elektriciteitsproductie op basis van steenkoolcentrales en STEG's in de toekomst met 24 % ten opzichte van het geval zonder bijstook zou volstaan om de CO_2 -reductie door 10 % bijstook van het houtafval volledig teniet te doen (§ 7.1.1). Het risico bestaat, maar of het zich werkelijk voordoet en hoe het kan vermeden worden kan enkel uit een dynamische analyse van het elektriciteitspark blijken wat geen onderdeel is van deze studie.

¹ $428 \text{ ton CO}_2/\text{GWh} = 3,6 \text{ TJ}/\text{GWh} \cdot \text{EF}_{\text{aardgas}} / \alpha_{\text{STEG}}$ met α_{STEG} en $\text{EF}_{\text{aardgas}}$ uit Tabel in bijlage

² $860 \text{ ton CO}_2/\text{GWh} = 3,6 \text{ TJ}/\text{GWh} \cdot \text{EF}_{\text{steenkool}} / \alpha_{\text{steenkoolcentrale}}$ met $\alpha_{\text{steenkoolcentrale}}$ en $\text{EF}_{\text{steenkool}}$ uit Tabel in bijlage

Een ander gevolg van de stapeling is dat bij injectie op het net van groene stroom die niet afkomstig is van bijstook van biomassa in steenkoolcentrales, eerst de gascentrales hun belasting zullen verlagen en de CO₂-emissies van een gascentrale worden vermeden. Het gevolg van de technische randvoorwaarden is dat wanneer de hoeveelheid groene stroom voldoende hoog is, ook de steenkoolcentrales hun belasting zullen verlagen. De vermeden CO₂-emissies zullen in dat geval dichter aanleunen bij de CO₂-emissies van het gemiddeld elektriciteitspark zonder kerncentrales (648,4 ton CO₂/GWh; Aernouts & Jespers, 2007). Dit betekent dat, rekening houdend met de lagere emissiefactor van een gascentrale ten opzichte van het gemiddeld park, door de productie van groene stroom (niet afkomstig van bijstook van biomassa in steenkoolcentrales) minimaal de CO₂-emissies van een gascentrale en maximaal de CO₂-emissies van het gemiddeld park worden vermeden. In deze studie werden de vermeden CO₂-emissies door de productie van groene stroom in afvalverbrandingscentrales, biogasmotoren en WKK benaderd als het gemiddelde van deze twee extreme gevallen. Hoeveel CO₂-emissies in de praktijk worden vermeden kan enkel bepaald worden op basis van de werkelijke verandering in de belasting van de verschillende elektriciteitscentrales die door de productie van de groene stroom wordt veroorzaakt. De verandering in belasting zal in belangrijke mate afhangen van de hoeveelheid groene stroom die op het net wordt gebracht en kan enkel berekend worden op basis van een dynamische analyse van het elektriciteitspark. Een dynamische analyse van het elektriciteitspark is echter geen onderdeel van deze studie.

In deze studie werd geen rekening gehouden met veranderingen in import van elektriciteit uit het buitenland als gevolg van de productie van groene stroom. Verschuivingen in de stapeling van het elektriciteitspark gekoppeld aan seizoensvariaties werden evenmin in rekening gebracht.

3.4.7. Keuze referentie-installatie voor berekening CO₂-reductie warmteproductie met biologisch afval

Referentie-installaties in deel 5:

In tegenstelling tot bij de productie van stroom, is het aantal mogelijke referentie-installaties bij productie van warmte uit biologisch afval veel groter. Warmte kan geproduceerd worden door verbranding van aardgas, stookolie of steenkool in een ketel of een WKK, of op basis van elektriciteit met behulp van een elektrische weerstand of een warmtepomp. Voor energetische valorisatie van houtafval werd de CO₂-reductie ten opzichte van al deze mogelijke referentie-installaties berekend. Voor warmteproductie op basis van elektriciteit werden daarbij de CO₂-emissies van het gemiddeld park zonder nucleaire centrales in rekening gebracht.

Referentie-installaties in deel 4:

Er wordt aangenomen dat in de praktijk vooral stookinstallaties op stookolie en aardgas vervangen zullen worden door installaties op biologisch afval. Beide installaties hebben een gelijkaardig rendement (Tabel 26 in bijlage) en de vermeden CO₂-emissies zullen dus vooral bepaald worden door de emissiefactor van de brandstof. Rekening houdend met de lagere emissiefactor van aardgas (0,061 ton/GJ_{gas}, Tabel 26 in bijlage) ten opzichte van stookolie (0,086 ton/GJ_{steenkool}, Tabel 26 in bijlage) zal de CO₂-reductie door de productie van warmte op basis van biologisch afval ten opzichte van een aardgasinstallatie of een stookolie-installatie respectievelijk overeenkomen met de minimaal en de maximaal realiseerbare CO₂-

reductie. De CO₂-reductie door warmteproductie op basis van biologisch afval werd benaderd als het gemiddelde van deze twee extreme gevallen. Dit zal een goede benadering geven van de realiteit voor gebouwenverwarming aangezien 47,5 % en 39 % van het Vlaamse gebouwenpark verwarmd wordt met respectievelijk aardgas en stookolie (Six, 2009). 8,5 % wordt verwarmd met elektriciteit en slechts 5 % op hout, steenkool of LPG (Six, 2009). Accurate cijfers over productie van proceswarmte in de industrie werden niet teruggevonden.

3.4.8. CO₂-reductie in ton CO₂ per GJ houtafval of per GWh elektriciteit/warmte

De CO₂-reductie bij energetische valorisatie van houtafval (deel 5) kan ofwel berekend worden per ton of GJ houtafval, ofwel per hoeveelheid geproduceerde warmte of elektriciteit. Het uitgangspunt van deze studie is voor een gegeven hoeveelheid houtafval die verwerkingsopties te identificeren die de grootste CO₂-reductie opleveren ongeacht of die CO₂-reductie wordt gerealiseerd door vervangen van fossiele brandstoffen bij energetische valorisatie of vervangen van energie-intensieve materialen bij recyclage. Uitdrukking van de CO₂-reductie in ton CO₂ per GJ houtafval is bijgevolg relevanter en voor recyclage is dit zelfs de enige mogelijkheid. Een CO₂-reductie per GWh elektriciteit kan overigens niet rechtstreeks vergeleken worden met een CO₂-reductie per GWh warmte daar elektriciteit en warmte geen gelijkwaardige energievormen zijn. Bovendien is bij WKK de allocatie van CO₂-emissies aan warmte- of elektriciteitszijde functie van de temperatuur van de geproduceerde warmte (Commissie Ampère, 2000). Een CO₂-reductie per GJ hout kan ook vergeleken worden met een CO₂-reductie per GJ aardgas bijvoorbeeld bij het vervangen van een stookolieketel door een gasketel. Daarom is hier voor alle opties met een reductie per GJ hout gewerkt (zie uitleg bij Tabel 26 in bijlage voor berekeningsmethodologie). Voor opties met elektriciteitsproductie werd daarnaast ook de CO₂-emissie per MWh elektriciteit berekend.

3.4.9. CO₂-emissies voor transport en voorbehandeling houtafval

Op basis van literatuurgegevens kunnen de CO₂-emissies per GJ hout berekend worden voor de productie van houtsnippers of houtpellets (zie uitleg bij Tabel 26 in bijlage). In deze data zit de CO₂-emissie voor transport over een afstand van 50 km impliciet verekend. Deze bedraagt 0,00046 ton CO₂/GJ hout. Voor de verschillende opties voor energetische valorisatie is een CO₂-emissie voor voorbehandeling en transport in rekening gebracht die het gemiddelde vormt van het geval met enkel transport en het geval met de grootste CO₂-emissies (productie en transport houtpellets). Verschillen in emissies van voorbehandeling en transport tussen verschillende installaties werden dus niet in rekening gebracht.

De CO₂-emissies van voorbehandeling zullen echter veeleer afhangen van de aard van het verwerkte houtafval dan van de aard van de verwerkingsinstallatie zelf. Voor houtstof zal bijvoorbeeld in alle installaties nauwelijks voorbehandeling nodig zijn. Houtpellets kunnen in bijna alle installaties aangewend worden en de voorbehandeling zal gelijkaardig zijn. Voor de meeste installaties zullen de CO₂-emissies gekoppeld aan de voorbehandeling van een specifieke stroom houtafval gelijkaardig zijn en geen aanleiding kunnen geven tot relatieve verschillen in totale CO₂-emissies. Werken met een gemiddelde CO₂-emissie van voorbehandeling voor alle installaties lijkt bijgevolg gerechtvaardigd.

De CO₂-emissies gekoppeld aan transport kunnen wel sterk verschillen naargelang de locatie van de installatie en de oorsprong van het houtafval. Het meeste

houtafval voor energetische valorisatie is afkomstig van de Vlaamse markt (Figuur 24 in bijlage). Met een emissiefactor van bulk vrachtvervoer over de weg van 0,097 kg/(ton.km) (den Boer, 2008) en een gemiddelde transportafstand van 100 km komt men tot een emissie van 0,0097 ton CO₂/ton houtafval wat voor de meeste verwerkingsopties overeenkomt met een aandeel van 1 tot maximum 2 procent in de totale CO₂-emissies (Figuur 9). De impact van CO₂-emissies voor transport van Vlaams houtafval op de totale CO₂-emissies van energetische valorisatie zal dus relatief beperkt zijn.

3.4.10. Gebruikte gegevens voor berekening van onrendabele top (OT) in 2008

De meeste investerings- en operationele kosten werden overgenomen uit een Nederlandse OT-studie (Van Tilburg, 2007). Er kan verwacht worden dat deze weinig zullen verschillen van de Vlaamse situatie. Waar uit de Vlaamse OT-studie (Moorkens, 2005) toch bleek dat er een belangrijk verschil is voor de Vlaamse situatie werden de gegevens uit de OT-studie van 2005 overgenomen. Een gelijkaardig rekenmodel werd gebruikt als in de OT-studie van 2005 en de gebruikte methodiek kan daar teruggevonden worden. In bijlage zijn de inputdata voor de verschillende brandstof-technologie combinaties opgenomen (§ 7.3.1).

Bij de berekening van de OT werd rekening gehouden met de regeling voor het bepalen van de ecologiepremie voor 2008. Voor 2008 bedroeg het steunpercentage 10 % van de meerkost voor grote ondernemingen en 20 % voor KMO's (Besluit van de Vlaamse Regering tot toekenning van steun aan ondernemingen voor ecologie-investeringen in het Vlaamse Gewest, 16/05/2007). Dit steunpercentage werd nog vermenigvuldigd met de aangepaste milieuperformantiefactor uit de limitatieve technologielijst (LTL) (VEA, 2008). Hier werd de OT enkel berekend voor grote ondernemingen. Het plafond voor de ecologiepremie was 1,6 M€ per aanvraag.

Bij de berekening van de OT voor WKK werd de minimumsteun voor warmtekrachtcertificaten (WKC) als inkomst slechts in rekening gebracht bij een warmtekrachtbesparing van minimum 10 % voor een elektrisch vermogen van meer dan 1 MW en 0 % voor een lager elektrisch vermogen. Ook het dalend verloop in functie van de tijd van het aantal toegekende WKC werd in rekening gebracht (Besluit van de Vlaamse Regering ter bevordering van de elektriciteitsopwekking in kwalitatieve warmtekrachtinstallaties (07/07/2006), bijlage III).

Opbrengsten uit de productie van elektriciteit en kosten van onbalans werden zoals in Nederland achteraf in mindering gebracht, rekening houdend met de gemiddelde basislast elektriciteitsprijs voor 2008 (Tabel 21). Het verschil tussen de zo verkregen gecorrigeerde onrendabele top (GOT) en de minimumsteun voor GSC in 2008 kan beschouwd worden als de mate van over- of onderstimulering. Wanneer in deze tekst sprake is van de onrendabele top, gaat het steeds over de gecorrigeerde onrendabele top in 2008. Door de uitzonderlijk hoge brandstof- en elektriciteitsprijzen in 2008 mag de absolute waarde van de onrendabele top niet als representatief beschouwd worden op lange termijn. Relatieve verschillen in de onrendabele top tussen verschillende brandstof-technologie combinaties, het onderwerp van deze studie, zullen echter veel minder afhankelijk zijn van elektriciteits- en brandstofprijzen, aangezien de verschillende brandstof- en elektriciteitsprijzen, zij het met enige vertraging, een gelijkaardige evolutie vertonen. De Vlaamse situatie werd eveneens vergeleken met de Nederlandse situatie in 2008, waar jaarlijks basisbedragen op basis van de onrendabele top per technologie en correcties voor elektriciteitsprijzen en onbalans worden vastgelegd.

Als minimumsteun werden de steunbedragen voor groene stroom genomen voor 2008 (Decreet van 17 juli 2000 houdende de organisatie van de elektriciteitsmarkt). Alle installaties met een vermogen kleiner dan 50 MWe werden verondersteld op het distributienet aangesloten te zijn en kwamen dus in aanmerking voor de minimumsteun. Installaties die rechtstreeks op het transmissienet zijn aangesloten, zoals oude steenkoolcentrales, konden niet genieten van deze minimumsteun, maar kregen wel groenestroomcertificaten ter waarde van gemiddeld 105 € voor 2008. Voor nieuwe steenkoolcentrales werd de voorgestelde halvering van het aantal certificaten vanaf januari 2010 in rekening gebracht door een halvering van de waarde van de certificaten tot 53 € (Besluit van de Vlaamse Regering inzake de bevordering van elektriciteitsopwekking uit hernieuwbare energiebronnen, 5 maart 2004). Voor bijstook in oude steenkoolcentrales is enkel rekening gehouden met de vermeden brandstofkosten en niet met de inkomsten uit de verkoop van elektriciteit aangezien deze elektriciteit ook zou geproduceerd worden zonder de inzet van houtafval op basis van steenkool. Voor nieuwe steenkoolcentrales wordt er vanuit gegaan dat bijstook standaard wordt toegepast. Voor nieuwe steenkoolcentrales werden bijgevolg geen vermeden brandstofkosten in rekening gebracht maar wel de inkomsten uit de verkoop van elektriciteit. Zoals in de Nederlandse OT-studie (Van Tilburg, 2007) werd geen rekening gehouden met inkomsten uit CO₂-emissierechten.

3.4.11. Functioneel equivalente hoeveelheid materiaal

Bij recyclage worden de emissies voor de productie van een equivalente hoeveelheid nieuw/alternatief materiaal vermeden. Indien bijvoorbeeld houtafval, dat anders als materiaal wordt aangewend, energetisch wordt gevaloriseerd, zal een ander materiaal de functie van hout moeten vervullen. De functies die spaanplaten, die voor een groot deel op basis van houtafval vervaardigd worden, kunnen vervullen, kunnen zeer divers zijn. Spaanplaat kan bv. gebruikt worden voor meubels, niet-dragende muren, wandbekleding, bekleding of vulling in deuren, daken en vloerplaat, betonbekistingsplaat, verpakking, ... Voor elke functie moet een gesubstitueerd equivalent materiaal berekend worden, de hoeveelheid referentiemateriaal die nodig is om die bepaalde functie van houtafval te vervullen. Een gesubstitueerd equivalent materiaal is vaak moeilijk te berekenen. Materialen afgeleid van vers hout of houtafval zullen echter gelijkaardige karakteristieken hebben. Voor deze materialen werd verondersteld dat 1 ton recyclagemateriaal equivalent is met 1 ton referentiemateriaal. De meeste niet-biologische materialen hebben echter een veel grotere dichtheid dan hout of van hout afgeleide producten (§ 7.1.4). Voor deze materialen zal de equivalentie-veronderstelling niet opgaan. Voor een aantal materialen waar de equivalentie-veronderstelling niet opgaat werd naar resultaten uit de literatuur verwezen.

3.4.12. Keuze referentiematerialen en overeenkomstige levensduur

De belangrijkste optie voor materiaalvalorisatie van houtafval is de verwerking in spaanplaten (Fotij, 2009). Spaanplaat wordt vooral gebruikt in de meubel- en de bouwindustrie. Evenals bij de CO₂-reductie bij energetische valorisatie zal de CO₂-reductie bij recyclage sterk afhangen van de gekozen referentie, in dit geval het materiaal dat vervangen wordt. Welk materiaal in de praktijk de plaats van de spaanplaat zal innemen, wordt vooral door de functionele equivalentie en de kostprijs bepaald.

In de meubelindustrie zal spaanplaat vooral in de plaats komen van andere producten op basis van nieuw hout, zoals oriented strand board (OSB) of in mindere mate multiplex of rondhout (Fedustria, persoonlijke communicatie). Het is echter ook mogelijk dat bij een tekort aan houtafval op de Belgische markt spaanplaat vanuit het buitenland wordt geïmporteerd. Bij deze referentie wordt er vanuit gegaan dat de spaanplaat binnen een straal van 1500 km wordt aangevoerd. Bij de maximale productie-emissies wordt daarom voor het transport een CO₂-uitstoot van 0,15 ton per ton spaanplaat in rekening gebracht (den Boer, 2008). In een aantal meubelen zit ook staal verwerkt. De equivalentie-veronderstelling (§ 7.1.4) zal voor dit referentiemateriaal wellicht niet opgaan en het berekend resultaat moet dan ook eerder als een indicatie beschouwd worden.

Voor toepassingen in de bouwsector als niet-dragende wand zal er naast substitutie van de eerder genoemde referentiematerialen ook mogelijkheid zijn tot substitutie van niet-biologische materialen zoals gipsplaat, baksteen of stortbeton. Voor gipsplaat zal de equivalentie-veronderstelling vrij goed opgaan door de gelijkaardige dichtheid ten opzicht van spaanplaat (Tabel 31). Gipsplaat en rondhout worden meestal in LCA studies aangehaald als alternatief voor spaanplaten (Bergsma et al., 2001; Cornelissen & Hirs, 2002). De kostprijs van gipsplaten zal echter veel kleiner zijn dan de kostprijs van rondhout (en mogelijk ook andere producten op basis van nieuw hout), aangezien gips een afvalproduct is van diverse industriële processen. Voor toepassing als constructiemateriaal zal gipsplaat bijgevolg het meest voor de hand liggende alternatief zijn. Spaanplaat kan ook in de plaats komen van baksteen, stortbeton of staalplaat. Voor deze referentiematerialen gaat de equivalentie-veronderstelling echter niet meer op. Voor stortbeton en staalplaat als referentie wordt verwezen naar resultaten uit de literatuur waar de emissies voor functioneel equivalente hoeveelheden werden vergeleken.

Als levensduur voor toepassingen in de meubelindustrie werd 20 jaar genomen. Voor toepassingen in de bouwsector werd een levensduur van 40 jaar genomen (Miner, 2003).

3.4.13. Emissies bij productie van spaanplaat en referentiematerialen

De gebruikte emissies zijn cradle-to-gate emissies, met andere woorden alle emissies vanaf ontginning tot het afgewerkt product. Deze werden verzameld uit verschillende bronnen en de emissiereductie werd berekend op basis van het gemiddelde van de minimale en maximale teruggevonden emissie. De meeste gegevens zijn afkomstig van het Finse RTS Building Information Foundation. De emissies zijn mogelijk verschillend voor de Belgische situatie door een andere energiemix van het elektriciteitspark of andere transportemissies. Voor Vlaanderen zullen de emissies voor transport van bijvoorbeeld rondhout waarschijnlijk hoger zijn dan in Finland door de hogere transportafstand. Voor biologische referentiematerialen werden de Finse gegevens aangevuld met gegevens uit een Amerikaanse studie (Puettmann, 2005). Voor spaanplaat en gipsplaat werden de gegevens aangevuld met gegevens uit een Nederlandse studie (Bergsma, 2001).

3.4.14. CO₂-opslag in hout

De koolstofopslagfunctie is een belangrijk voordeel van het gebruik van hout als materiaal ten opzichte van andere niet-biologische materialen en ten opzichte van energetische valorisatie. Hout gebruiken voor recyclage in plaats van energetische valorisatie zorgt er immers voor dat de CO₂ die door de bomen is vastgelegd in het

hout langer opgeslagen blijft. Vaak wordt echter de volledige koolstofinhoud, als opgeslagen CO₂ aan het product toegekend, terwijl de levensduur van de meeste producten en de emissies tijdens het afvalstadium niet toelaten om de CO₂ als permanent opgeslagen te beschouwen. Bovendien worden producten met een langere levensduur, en dus langere CO₂-opslag, op die manier niet bevoordeeld. In deze studie wordt de methode van Row en Phelps gebruikt voor toekenning van CO₂-opslag aan houten producten. Bij deze methode zal de toegekende CO₂-opslag toenemen met de levensduur van het product (zie bijlage § 7.1.5 voor beschrijving).

3.4.15. Tijdstip CO₂-emissies

Een hoeveelheid CO₂, die vandaag wordt uitgestoten, zal binnen 25 jaar nog maar voor ongeveer 70 % in de atmosfeer aanwezig zijn omwille van de talrijke terugkoppelingen tussen de atmosfeer, de hydrosfeer, de cryosfeer, de biosfeer en de lithosfeer (Figuur 26 in bijlage). Met het tijdstip van de CO₂-emissie wordt in de meeste LCA studies geen rekening gehouden (Petersen & Solberg, 2005). Een scenario met initieel een hogere uitstoot dan een ander scenario kan door emissies in de toekomst over de periode van de analyse echter toch aanleiding geven tot een gemiddeld lagere hoeveelheid CO₂ in de atmosfeer. Bij de vergelijking tussen het scenario recyclage en het scenario energetische valorisatie is wel rekening gehouden met het tijdstip van de CO₂-emissies en de evolutie van de CO₂-concentratie in de atmosfeer. De meest gebruikte horizon voor analyses in verband met klimaatverandering is 100 jaar. De horizon van 100 jaar lijkt echter onrealistisch met betrekking tot belangrijke technologische doorbraken, zoals de efficiënte opslag van CO₂, die de komende 20 jaar worden verwacht. Daarom werd de CO₂-reductie door recyclage berekend voor twee verschillende horizonten, namelijk 20 en 100 jaar. In beide gevallen werd de koolstof die na de horizon nog in het materiaal is opgeslagen als permanent opgeslagen beschouwd. De impact van de horizon op de CO₂-reductie wordt besproken in bijlage (§ 7.1.6).

3.4.16. Referentie energetische valorisatie voor berekening CO₂-reductie recyclage

De CO₂-reductie door recyclage van houtafval werd berekend op basis van het gemiddelde van de CO₂-reductie door energetische valorisatie van houtafval in een stookinstallatie met stookolie als referentiebrandstof (1,33 ton CO₂/ton hout) en de CO₂-reductie door energetische valorisatie in een kachel met aardgas als referentiebrandstof (0,67 ton CO₂/ton hout). Deze twee gevallen zullen in de praktijk goed overeenkomen met de opties voor energetische valorisatie met respectievelijk de grootste en kleinste CO₂-reductie en zullen bijgevolg aanleiding geven tot respectievelijk de kleinste en grootste CO₂-reductie door recyclage. Er zijn nog een aantal opties met een hogere CO₂-reductie voor energetische valorisatie, maar deze zullen in de praktijk niet vaak voorkomen (Figuur 9). Omgekeerd kan de CO₂-reductie door het vervangen van een gaskachel door een houtkachel in de praktijk als ondergrens beschouwd worden, aangezien bestaande warmtepompen niet zullen vervangen worden (Figuur 9).

3.4.17. Emissies afvalstadium en effect van meerdere recyclagecycli

Er werd vanuit gegaan dat houtafval slechts éénmaal wordt gerecycleerd tot spaanplaat en de spaanplaat energetisch wordt gevaloriseerd op het einde van de levenscyclus. Bij een grote emissiereductie door materiaalsubstitutie zal de totale emissiereductie van het scenario materiaalrecuperatie uiteraard toenemen met het

aantal keer dat het materiaal gerecycleerd wordt. De hier berekende CO₂-reducties voor éénmalige recyclage moeten dus als ondergrens beschouwd worden. Absoluut zullen de emissies van een eerste scenario, waarbij het materiaal meermaals wordt gerecycleerd, waarschijnlijk wel hoger liggen dan in een tweede scenario waarbij éénmaal wordt gerecycleerd tot een product met een levensduur die gelijk is aan de som van de opeenvolgende recyclageperioden van de producten uit het eerste scenario. Het spreekt voor zich dat het verlengen van de levensduur van producten door herstelling en hergebruik nog een veel grotere CO₂-reductie zal genereren dan recyclage. Dit geldt uiteraard niet voor producten die door technologische evolutie resulteren in verbeterde eigenschappen en daardoor aanleiding geven tot een lager energieverbruik, zoals bijvoorbeeld isolatie.

Bij biologische referentiematerialen werd ervan uitgegaan dat deze niet worden gerecycleerd, maar energetisch worden gevaloriseerd op het einde van de levenscyclus. In het scenario van eerste recyclage van houtafval tot spaanplaat en het scenario van gebruik van vers hout voor de productie van OSB zal nogmaals recycleren op het einde van de levenscyclus beter zijn dan energetische valorisatie. Naarmate het aantal recyclagecycli toeneemt zal de structurele kwaliteit van het product op basis van het houtafval echter sterker achteruitgaan dan de kwaliteit van het product op basis van het vers hout. Als dan toch moet gekozen worden, is het beter het product op basis van het houtafval energetisch te valoriseren.

Bij niet-biologische referentiematerialen werd verondersteld dat deze gestort worden. Indien deze zouden gerecycleerd worden, betekent dit extra emissies voor het scenario energetische valorisatie indien de emissies bij recyclage van het niet-biologisch referentiemateriaal hoger liggen dan de emissies bij recyclage van het biologisch materiaal. De hier berekende CO₂-reducties met storten op het einde van de levenscyclus moeten dus in de meeste gevallen als ondergrens beschouwd worden.

3.4.18. Vergelijking andere emissies ten gevolge van energetische valorisatie en recyclage van houtafval

Voor andere emissies dan CO₂ werd geen rekening gehouden met het tijdstip van de emissies omdat de effecten van deze emissies zich op een veel kortere tijdschaal afspelen. Indien geen rekening wordt gehouden met het tijdstip van de emissies, reduceert het verschil in emissies tussen het scenario recyclage en het scenario energetische valorisatie zich tot het verschil in emissies door materiaalsubstitutie. In bijlage wordt dieper ingegaan op deze aanname (§ 7.1.7).

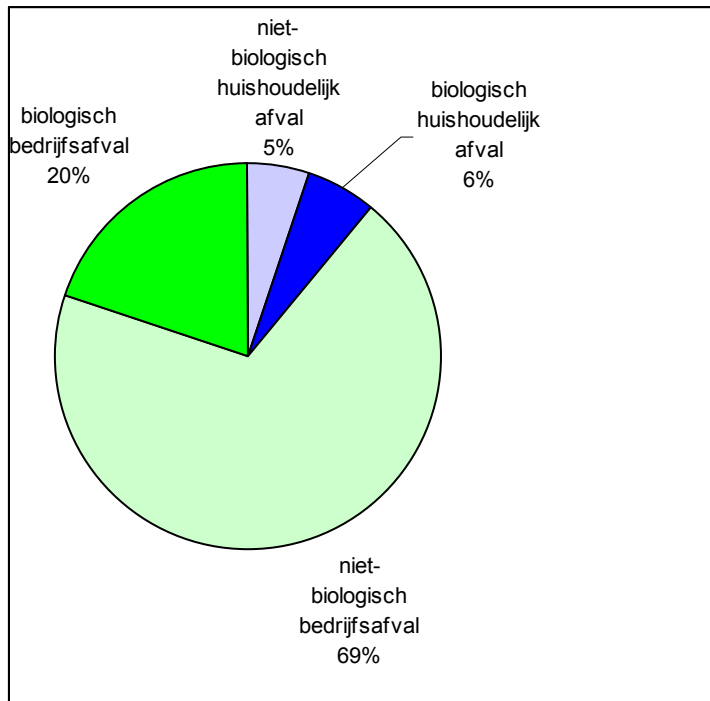
4. Samenstelling en verwerking biologisch afval

4.1. Samenstelling en energie-inhoud van biologisch afval (situatie 2005)

Een kwart van het Vlaamse afval is van biologische oorsprong

In 2005 werd in Vlaanderen 3,3 miljoen ton huishoudelijk afval en 26,5 miljoen ton bedrijfsafval geproduceerd (Van Steertegem, 2007). Ruw geschat is 7,7 miljoen ton, dit is een kwart van het Vlaamse afval, van biologische oorsprong (Figuur 1). Het huishoudelijk afval bestaat voor ongeveer de helft uit biologisch afval, het bedrijfsafval voor ongeveer een vijfde.

Figuur 1: Samenstelling van het afval geproduceerd in Vlaanderen (situatie 2005)



Bron: verzamelde gegevens (Tabel 22 in bijlage)

Houtafval en organisch-biologisch bedrijfsafval zijn stromen met grootste energie-inhoud

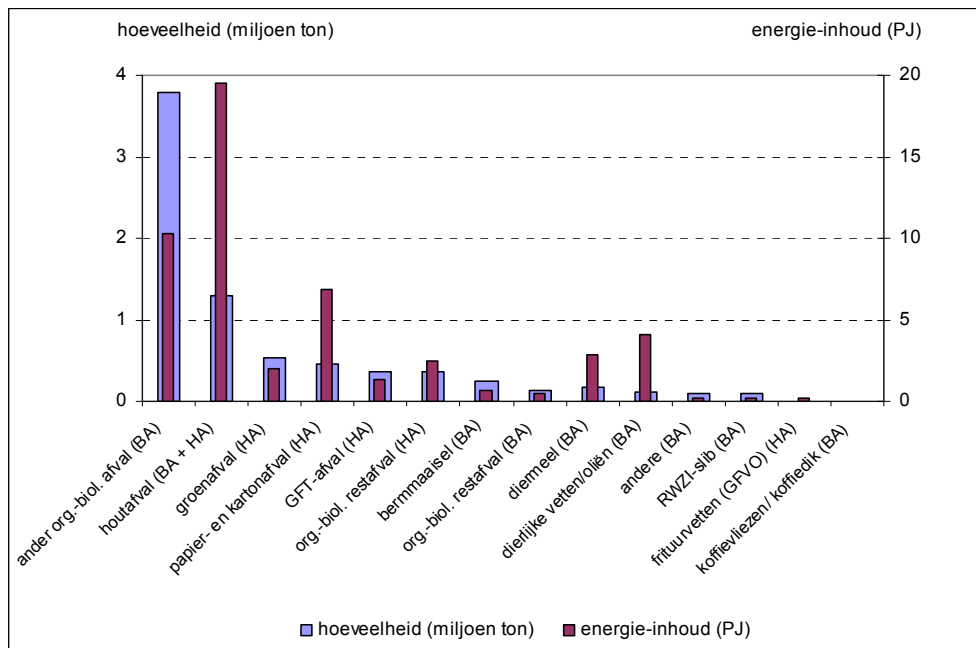
In 2005 werd ruw geschat zo'n 7,7 miljoen ton biologisch afval geproduceerd in Vlaanderen (Figuur 2). Ongeveer een kwart van het biologisch afval was van huishoudelijke oorsprong, de rest was bedrijfsafval.

Organisch-biologisch bedrijfsafval, dat vooral afkomstig is van de voedingsindustrie, vertegenwoordigde bijna de helft van de totale hoeveelheid biologisch afval, houtafval was goed voor 17 %. Andere stromen met een aandeel van meer dan 5 %

waren het groenafval van huishoudens, de biologische fractie van het restafval van huishoudens plus bedrijven, en het selectief ingezameld papier- en kartonafval.

In termen van energie-inhoud ziet de verdeling er heel anders uit dan in termen van hoeveelheid (Figuur 2). Het aandeel van het organisch-biologisch bedrijfsafval daalt van 48 naar 20 %, het aandeel van houtafval stijgt van 17 tot 38 % en het aandeel papier- en kartonafval neemt toe van 6 tot 13 %. De totale energie-inhoud van het biologisch afval dat in 2005 werd geproduceerd in Vlaanderen bedroeg 51 PJ.

Figuur 2: Samenstelling en energie-inhoud van het biologisch afval geproduceerd in Vlaanderen (2005)



HA = huishoudelijk afval, BA = bedrijfsafval

Bron: verzamelde gegevens (Tabel 22 en Tabel 23 in bijlage)

4.2. Energetische valorisatiemogelijkheden voor biologisch afval

De afvalstroom kan na voorbereiding rechtstreeks verbrand worden in een verbrandingsinstallatie. Dit kan een wervelbed of roosteroven van een afvalverbrandingsinstallatie, een kleinschalige stookinstallatie of de stookketel van een elektriciteitscentrale op steenkool zijn. In elk van deze toepassingen wordt de energie-inhoud van het afval in een bruikbare vorm omgezet. In een decentrale, kleinschalige installatie gebeurt dit op maat van de gebruiker in de vorm van productie van warmte (warm water of stoom) of van warmte en elektriciteit (warmtekrachtkoppeling (WKK)). In een elektriciteitscentrale of afvalverbrandingsinstallatie gebeurt de verbranding op grote schaal en wordt de geproduceerde stoom gebruikt voor het opwekken van elektriciteit in een stoomturbine of als processtroom in een industriële toepassing die zich in de buurt bevindt.

Anderzijds kan de afvalstroom ook ingezet worden in een vergassings- of een vergistingsinstallatie. Vergassen is een thermische verwerkingstechniek waarbij het te verwerken materiaal wordt blootgesteld aan een stoichiometrische ondermaat lucht of zuurstof. Het organisch materiaal wordt maximaal omgezet in een gasvormige fase (syngas of productgas). Na de vergassing van het afval kan het syngas of productgas op verschillende manieren aangewend worden. Het syngas kan bijgestookt worden in steenkoolcentrales voor de productie van elektriciteit. Een bijkomende zuivering van het syngas is bij deze optie niet nodig. Indien men het syngas wenst te gebruiken in een STEG (stoom- en gascyclus) (weliswaar nog geen commerciële toepassingen met hoge vermogens gerapporteerd), een gasturbine, een gasmotor of voor de synthese van chemische basisproducten is een doorgedreven zuivering van het syngas noodzakelijk.

Anaerobe vergisting is een volledig natuurlijk proces. Voor dit proces zijn verschillende bacteriën verantwoordelijk. In zuurstofloze omstandigheden (vandaar anaeroob) breken ze organisch materiaal af en zetten het om in biogas. Dit biogas, dat vooral uit methaan bestaat, wordt meestal energetisch gevaloriseerd in een gasmotor voor de productie van elektriciteit. Een groot deel van het biogas wordt aangewend om de temperatuur van de vergisting op peil te houden voor een optimale biogasproductie. Dit verklaart waarom netto rendementen van vergisting eerder aan de lage kant zijn.

4.3. Verwerking van biologisch afval (situatie 2005)

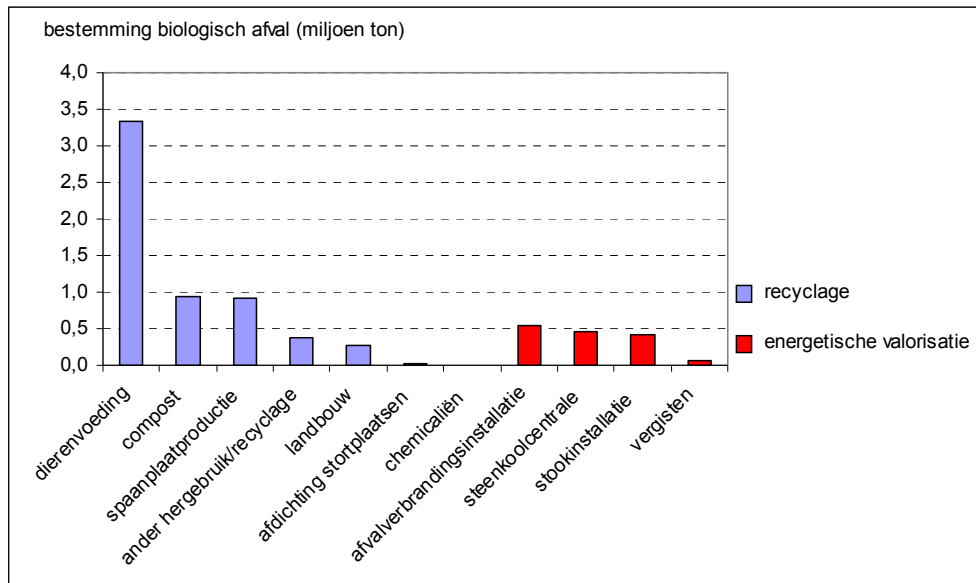
Ongeveer driekwart van het biologisch afval gaat naar materiaalrecyclage

Figuur 3 toont hoe het biologisch afval in Vlaanderen werd verwerkt in 2005. Een deel van het in Vlaanderen verwerkte afval komt uit het buitenland. Omgekeerd wordt een deel van het in Vlaanderen geproduceerde afval in het buitenland verwerkt. De OVAM heeft enkel een duidelijk zicht op de in- en uitvoer van stromen die onder de kennisgevingsprocedure vallen (volgens Verordening (EEG) Nr. 1013/2006). Voor in- en uitvoer van deze stromen moet vooraf toelating gevraagd worden aan het land van uitvoer en het land van bestemming. Op basis van de kennisgevingsprocedure blijkt dat 0,4 miljoen ton van de bijna 8 miljoen ton biologisch afval die in 2005 in Vlaanderen werd verwerkt, afkomstig was uit het buitenland. Omgekeerd werd 0,24 miljoen ton van het in Vlaanderen geproduceerde biologisch afval in het buitenland verwerkt. Het grootste gedeelte van de biologische afvalstromen kan echter zonder kennisgeving in- of uitgevoerd worden. Dat maakt dat er voor bijvoorbeeld onbehandeld houtafval, houtpellets en organisch-biologisch bedrijfsafval geen volledige cijfers voor in- en uitvoer beschikbaar zijn.

Globaal werd bijna driekwart van het in Vlaanderen verwerkte biologisch afval (inclusief import) gerecycleerd, ongeveer een vijfde werd energetisch gevaloriseerd. Van een kleine fractie is de bestemming niet gekend. De energetisch gevaloriseerde hoeveelheid afval was ongeveer gelijk verdeeld over de afvalverbrandingsinstallaties, de steenkoolcentrales en de kleinere stookinstallaties. Ruim 40 % van het biologisch afval werd verwerkt tot dierenvoeding, die daarmee veruit de belangrijkste afzetroute is voor biologisch afval. Het gaat hier grotendeels om organisch-biologisch bedrijfsafval, dat vooral afkomstig is van de voedingsindustrie. Verwerking van biologisch afval tot compost en verwerking van houtafval tot spaanplaten waren allebei goed voor zo'n 12 %. Andere belangrijke afzetroutes waren papierrecyclage (ongeveer 5 %) en productie van meststoffen voor de landbouw (ongeveer 3 %).

Zo'n 5 % (0,4 miljoen ton) van het in Vlaanderen verwerkte biologisch afval was afkomstig uit het buitenland. Het ging om houtafval, olijpitten, koffievliezen en koffiedik. Het geïmporteerde houtafval ging voornamelijk naar de spaanplaatindustrie, de andere stromen werden ingezet voor energetische valorisatie in steenkoolcentrales.

Figuur 3: Verwerking van biologisch afval in Vlaanderen, opgesplitst in recyclage (links) en energetische valorisatie (rechts) (2005)



Bron: verzamelde gegevens (Tabel 22 in bijlage)

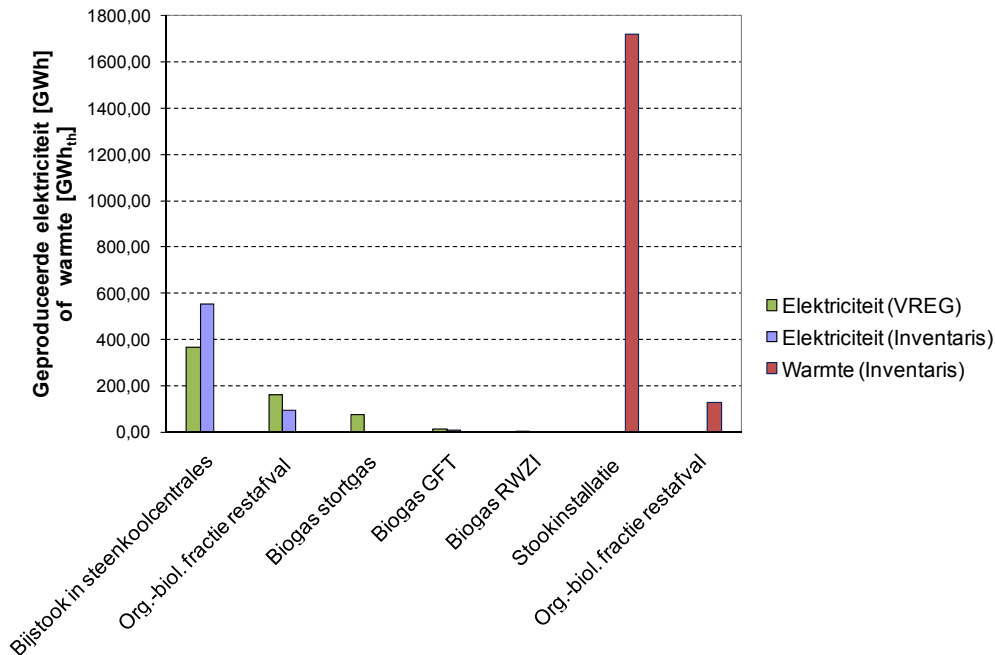
Ongeveer 3 % (0,24 miljoen ton) van het in Vlaanderen geproduceerde biologisch afval werd verwerkt in andere regio's of in het buitenland. 72 000 ton diermeel werd afgevoerd naar de cementindustrie in het Waalse gewest. Van de 161 000 ton houtafval die met kennisgeving is geëxporteerd, was 93 000 ton bestemd voor energetische valorisatie en 68 000 ton bestemd voor recyclage. Een deel van het organisch-biologisch bedrijfsafval zou richting Duitsland (vergistingsinstallaties) gaan. Sinds 2007 is er voldoende vergistingscapaciteit in Vlaanderen. 4 800 ton gebruikte frituurvetten en oliën (GFVO) werden geëxporteerd naar Nederland voor de productie van chemicaliën en biodiesel. Voor de uitvoer van huishoudelijk organisch-biologisch afval, zoals GFT-, groenafval en maaisel, moet vooraf toelating gevraagd worden aan de OVAM en het land van bestemming. In de voorbije jaren zijn de notificaties voor export echter zeer beperkt gebleven.

4.4. Productie van elektriciteit en warmte op basis van biologisch afval (situatie 2005)

Door de variabele brandstofprijzen en de steunmaatregelen voor groene stroom, is er een grote vraag naar biologisch afval voor warmte- en elektriciteits-productie. In 2005 werd in Vlaanderen ongeveer 1,5 miljoen ton biologisch afval ingezet voor de productie van elektriciteit en warmte (Tabel 22 in bijlage). Figuur 4 geeft een overzicht van de berekende warmte- en/of elektriciteitsproductie per

verwerkingsoptie. Deze berekeningen voor elektriciteitsproductie worden verder in de tekst vergeleken en aangevuld met gegevens van de VREG (productie van groene stroom op basis van uitgereikte GSC. Daarna wordt geschat hoeveel CO₂-emissies vermeden werden door energetische valorisatie van biologisch afval.

Figuur 4: Geschatte elektriciteits- en warmteproductie op basis van de inventaris biologisch afval. Vergelijking en aanvulling met gegevens aantal GSC van VREG (Vlaanderen, 2005)



Bron: berekeningen K.U.Leuven (Tabel 23 en Tabel 25 in bijlage)

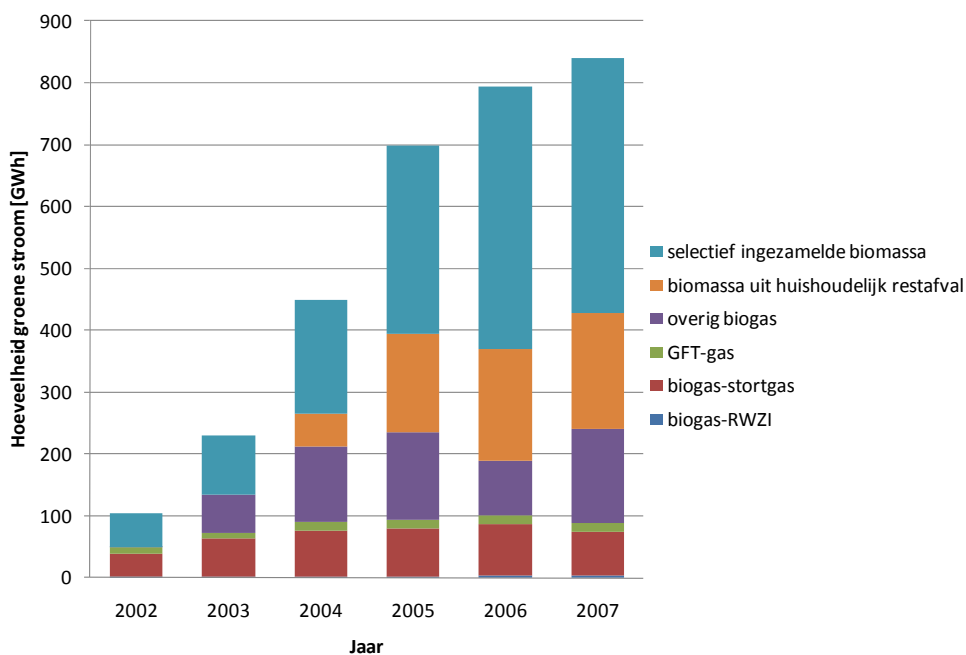
Steenkoolcentrales grootste producent van groene stroom uit biologisch afval

Productie van elektriciteit op basis van biologisch afval gebeurt vooral door verbranding in afvalverbrandingsinstallaties, door bijstook in steenkoolcentrales of door vergisting of vergassing tot biogas en daaropvolgende verbranding in bv. een gasmotor. Berekeningen op basis van gemiddelde rendementen van deze installaties (Tabel 23 in bijlage) en de geïnventariseerde hoeveelheden biologisch afval geven aan dat in 2005 656 GWh elektriciteit gegenereerd werd door de verbranding en vergisting van biologisch afval (Figuur 4). De inventaris geeft echter geen volledig en nauwkeurig beeld van de productie van groene stroom op basis van biologisch afval (zie aannames). Het aantal toegekende GSC geeft wél een volledig en nauwkeurig beeld van de groenestroomproductie.

De VREG reikt per 1000 kWh netto geproduceerde groene stroom één GSC uit. In 2005 werden 968 289 GSC uitgereikt, wat overeenkomt met 968 GWh groene stroom (Tabel 24 in bijlage). 618,4 GWh hiervan werd opgewekt door energetische

valorisatie van biologisch afval³ (Figuur 5). Dit is goed voor 64 % van de totale groene stroom en voor 1,1 % van het bruto elektriciteitsgebruik van 57,7 TWh in Vlaanderen (zie kernset energiegebruik op www.milieurapport.be). Meer dan de helft (59,2 %) van de groene stroom op basis van biologisch afval werd opgewekt door bijstook in steenkoolcentrales. In afvalverbrandingsinstallaties wordt 160 GWh opgewekt. Dit komt overeen met 25,8 % van de totale elektriciteitsproductie op basis van biologisch afval. Op basis van stortgas werd 77 GWh opgewekt of 12,5 % van het totaal. Tot slot werd 2,1 % opgewekt op basis van biogas uit GFT-afval en 0,4 % op basis van biogas uit RWZI-slib.

Figuur 5: Productie van elektriciteit op basis van biologisch afval (Vlaanderen, 2002-2007)



Bron: VREG (zie Tabel 24 in bijlage)

Meer warmte- dan stroomproductie uit biologisch afval

Biologische afvalstoffen worden ook ingezet voor de productie van warmte. Een stookinstallatie op houtachtige afvalstoffen heeft typisch een thermisch rendement van 90 % (Tabel 26 in bijlage). Berekeningen op basis van dit rendement en de geïventariseerde hoeveelheden biologisch afval geven aan dat de verbranding van biologisch afval in 2005 goed was voor een warmteproductie van 1722 GWh (Figuur 4). Daarnaast wordt nog 129 GWh warmte opgewekt in afvalverbrandingsinstallaties (Figuur 4). In totaal werd dus 1 851 GWh warmte opgewekt op basis van biologisch afval. Hiervan werd 81 % opgewekt via verbranding van houtafval en 12 % via

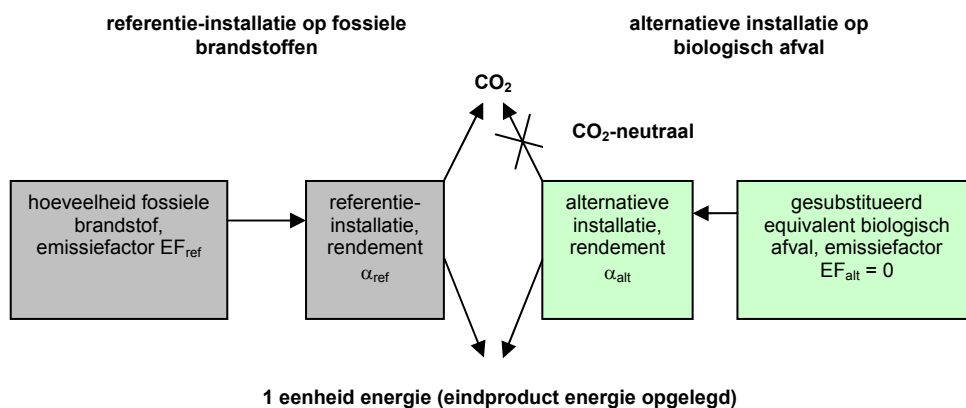
³ Is een lichte overschatting. In de categorie overig biogas zitten naast GSC voor energetische valorisatie van biogas uit afvalwaterzuivering van bedrijven ook GSC voor biogas uit mest, wat niet als een afvalstof wordt beschouwd.

verbranding van dierlijke vetten en oliën. Ondanks de onzekerheden op de inventaris, is het duidelijk dat er in 2005 heel wat meer warmte (1 851 GWh) dan stroom (618 GWh) werd geproduceerd op basis van biologisch afval. Warmte uit biomassa (inclusief biologisch) afval wordt, in tegenstelling tot groene stroom, niet gestimuleerd via 'groenwarmtecertificaten'. Er bestaat wel steun via de warmtekrachtcertificaten (WKC) als de warmte wordt opgewekt via een WKK installatie.

4.5. CO₂-emissies vermeden door energetische valorisatie van biologisch afval (situatie 2005)

De analyse in deel 4.4 toont dat biologisch afval een gegeerde brandstof is, zowel voor de productie van stroom als voor de productie van warmte. Maar hoeveel CO₂-emissies worden hiermee nu vermeden? Dit hangt af van de installatie waarin het biologisch afval energetisch wordt gevaloriseerd én van de referentie-installatie op fossiele brandstoffen, de fossiele brandstof-technologie combinatie die vervangen wordt (zie schema figuur 6).

Figuur 6: Schematische voorstelling vermeden CO₂-emissies door gebruik biologisch afval als brandstof



Hoe meer CO₂ de referentie-installatie op fossiele brandstoffen uitstoot, hoe hoger de vermeden CO₂-uitstoot zal zijn bij vervanging door een installatie op biologisch afval. De CO₂-uitstoot per GWh geproduceerde warmte/elektriciteit van een installatie op fossiele brandstoffen wordt bepaald door twee factoren: de emissiefactor van de fossiele brandstof (ton CO₂/GJ brandstof) en het rendement van de installatie. Hoe lager het rendement, hoe meer brandstof er nodig is, en hoe hoger de CO₂-uitstoot per eenheid geproduceerde warmte/elektriciteit zal zijn. Een installatie op biologisch afval is op zich CO₂-neutraal (emissiefactor EF = 0), maar hoe hoger het rendement van de installatie, hoe meer elektriciteit/warmte via die installatie kan geproduceerd worden met dezelfde input aan biologisch afval. Dit betekent dan ook dat bij hogere rendementen van installaties op biologisch afval meer fossiele brandstof, en dus ook meer CO₂-emissies, in een andere installatie kunnen vermeden worden. De vermeden hoeveelheid (fossiele) brandstof zal bijgevolg evenredig stijgen met de verhouding van het rendement van de alternatieve technologie op biologisch afval en het rendement van de

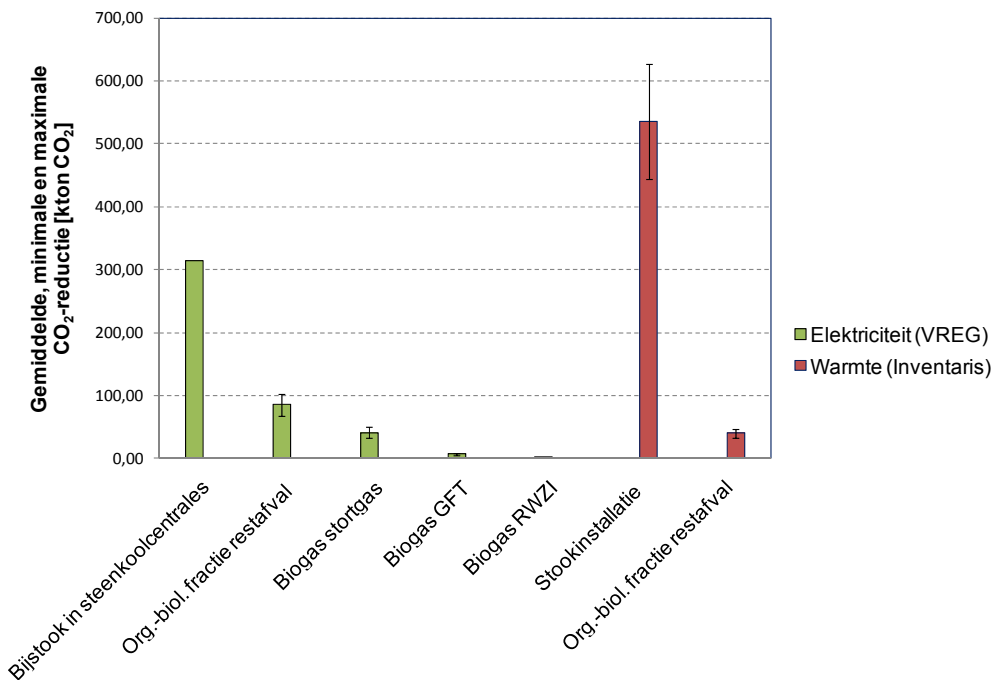
referentietechnologie op fossiele brandstoffen. Deze verhouding wordt het gesubstitueerd equivalent brandstof (GE) genoemd. Vermenigvuldiging van GE met de emissiefactor (EF) van de vermeden brandstof resulteert in de vermeden CO₂-uitstoot per GJ biologisch afval.

De referentietechnologie op fossiele brandstoffen zal een belangrijke impact hebben op de CO₂-reductie van een verwerkingsoptie. Voor de meeste verwerkingsopties zijn er echter meerdere mogelijke referentietechnologie-brandstofcombinaties, waardoor de werkelijke CO₂-uitstoot niet exact kan bepaald worden. Voor deze verwerkingsopties werd hier de CO₂-reductie benaderd als het gemiddelde van de minimaal en maximaal realiseerbare CO₂-reductie. De minimale en maximale CO₂-reductie voor elektriciteitsproductie op basis van biologisch afval kunnen bepaald worden op basis van de stapeling van de elektriciteitscentrales in het Belgisch elektriciteitspark. Als referentie voor elektriciteitsopwekking op basis van biologisch afval (met uitzondering van bijstook van biologisch afval in steenkoolcentrales) werd de maximale CO₂-reductie berekend met het gemiddeld elektriciteitspark zonder kerncentrales als referentie en de minimale CO₂-reductie met een gascentrale (STEG) als referentie. Voor bijstook van biologisch afval in een bestaande steenkoolcentrale kan de CO₂-reductie, gezien de stapeling van de elektriciteitscentrales in het Belgisch park, exact berekend worden met een steenkoolcentrale als referentie. Voor de berekening van de minimale en maximale CO₂-reductie voor warmteproductie op basis van biologisch afval werd een stookinstallatie op respectievelijk aardgas en stookolie als referentie genomen. Uitleg bij de keuze van deze referenties kan bij de sectie aannames teruggevonden worden.

CO₂-reductie elektriciteits- en warmteproductie vergelijkbaar

Figuur 7 geeft een schatting van de CO₂-emissies die in 2005 vermeden werden door productie van elektriciteit en warmte op basis van biologisch afval. Hoewel er bijna drie keer meer warmte werd geproduceerd op basis van biologisch afval dan elektriciteit (1851 GWh t.o.v. 618 GWh), is de vermeden CO₂-uitstoot vergelijkbaar. Gemiddeld werd meer CO₂ vermeden door productie van warmte op basis van biologisch afval dan door productie van elektriciteit (576 kton CO₂ tegenover 451 kton CO₂, Tabel 25 in bijlage). Dit komt omdat het aandeel van koolstofrijke fossiele brandstoffen zoals steenkool in de productie van warmte veel lager is dan in de productie van elektriciteit. De grootste CO₂-reductie werd gerealiseerd door warmteproductie in stookinstallaties en bedroeg 536 kton CO₂. Warmteproductie in afvalverbrandingsinstallaties vermeerde 40 kton CO₂. De grootste CO₂-reductie door elektriciteitsproductie werd gerealiseerd door bijstook in steenkoolcentrales en bedroeg 315 kton CO₂ (Figuur 7). Elektriciteitsproductie op basis van stortgas vermeerde 42 kton CO₂. Elektriciteitsproductie in afvalverbrandingsinstallaties en vergistingsinstallaties vermeerde respectievelijk 86 en 7 kton CO₂. In totaal werd gemiddeld 1,03 Mton CO₂ vermeden door energetische valorisatie van biologisch afval. Dit komt overeen met 1,2 % van de totale uitstoot van broeikasgassen in Vlaanderen in 2005 (88 742 kton CO₂-equivalenten (zie kernset broeikasgasemissies op www.milieurapport.be)).

Figuur 7: Minimale en maximale CO₂-reductie en gemiddelde van beide door productie van elektriciteit en warmte op basis van biologisch afval (Vlaanderen, 2005). Minimale en maximale waarden komen respectievelijk overeen met een STEG en het gemiddeld park zonder kerncentrales als referentie voor elektriciteitsproductie en een stookinstallatie op aardgas en stookolie voor warmteproductie.



Bron: berekeningen K.U.Leuven (Tabel 25 in bijlage)

4.6. Verwerking van biologisch afval: spanningsveld tussen energetische valorisatie en recyclage

De keuze voor een bepaalde verwerkingswijze hangt af van tal van factoren, zoals de technische mogelijkheden, het afvalbeleid, het energiebeleid, de prijzen van primaire grondstoffen en fossiele brandstoffen,... Voor een aantal biologische afvalstromen is er een spanningsveld tussen energetische valorisatie en recyclage. In de volgende paragrafen worden een aantal van de drijvende krachten achter dit spanningsveld geschetst.

Het afvalbeleid hanteert een vaste hiërarchie voor het beheer van afvalstoffen. De eerste prioriteit is afval voorkomen. Afval dat niet kan worden vermeden, moet worden hergebruikt. Als dat niet kan, moet het worden gerecycleerd of gecomposteerd. Daarna volgt (mee)verbranden, met terugwinning van energie. Sorteren is de laatste optie. De redenering achter deze hiërarchie is het veronderstelde verschil in milieu-impact van de verschillende verwerkingswijzen. Men gaat er bv. van uit dat door recyclage grotere milieuwinsten worden gerealiseerd dan bij het rechtstreeks verbranden van afval met energierecuperatie.

Om deze hiërarchie in de praktijk te brengen, werden onder meer een aantal verbrandingsverboden in het Vlarea opgenomen. Selectief ingezamelde afvalstromen die in aanmerking komen voor recyclage mogen niet verbrand worden. Dit verbrandingsverbod geldt echter niet voor de verbranding van hout en andere plantaardige afvalstoffen met een calorische inhoud van meer dan 11,5 MJ/kg. Omwille van de geschiktheid voor verbranding (hoge calorische waarde) en met het oog op het maximaal inzetten van hernieuwbare energie, laat de wetgever de verwerker van deze afvalstromen toe vrij te kiezen tussen recyclage of energetische valorisatie. Belangrijke afvalstromen die aan deze voorwaarde voldoen zijn behandeld niet verontreinigd houtafval (bv. afval van spaanplaat, al dan niet bekleed met melamine, geveerd en gevernist houtafval) en gebruikte frituurvetten en -oliën van zuiver plantaardige oorsprong, afkomstig van de voedingsmiddelenindustrie en met een voldoende hoge calorische inhoud (> 11 500 kJ/kg). Onbehandeld houtafval (bv. schavelingen en zaagresten van natuurlijk hout) voldoet in principe ook aan deze voorwaarden, maar het Uitvoeringsplan Houtafval 2004-2008 stelt dat onbehandeld houtafval maximaal naar materiaalrecyclage moet gaan.

Biologische afvalstromen die niet onder het verbrandingsverbod vallen, worden door het huidige klimaat- en energiebeleid in de richting van energetische valorisatie geduwd. Het inzetten van biomassa, inclusief biologisch afval, voor de productie van elektriciteit wordt in Vlaanderen immers gestimuleerd door de toekenning van groenestroomcertificaten (GSC) en de handel in emissierechten. De redenering achter dit beleid is dat het gebruik van biomassa voor productie van elektriciteit en warmte CO₂-armer is dan productie van elektriciteit en warmte op basis van fossiele brandstoffen. De CO₂ die vrijkomt bij energetische valorisatie van biomassa werd immers relatief kort geleden aan de atmosfeer onttrokken, toen het tijdens de groei van de biomassa werd vastgelegd in het organische materiaal. Door biomassa in plaats van fossiele brandstoffen in te zetten voor de productie van elektriciteit of warmte, worden bijgevolg CO₂ emissies vermeden. Daarom spreekt men ook wel van groene warmte en elektriciteit. Ook de stijgende prijzen voor fossiele brandstoffen zorgen ervoor dat elektriciteitsproducenten, bedrijven en zelfs particulieren biomassa, inclusief biologisch afval, gaan inzetten voor warmte- en/of elektriciteitsproductie.

Een duidelijk voorbeeld van het spanningsveld tussen recyclage en energetische valorisatie is houtafval. Houtafval heeft een calorische inhoud van meer dan 11,5 MJ/kg. Wettelijk gezien mag onbehandeld houtafval en niet-verontreinigd behandeld houtafval dus zowel ingezet worden voor recyclage als voor productie van elektriciteit en/of warmte (zie hoger). In het kader van de GSC zorgen de OVAM en de VREG wel voor een zekere mate van sturing. Aanvaardbare groenestroomcertificaten worden enkel toegekend voor biologische afvalstromen als deze niet kunnen gerecycleerd worden en als de verwerking in overeenstemming is met het geldende uitvoeringsplan (Groenstroombesluit Vlaamse regering, 5 maart 2004). De VREG vraagt hierover advies aan de OVAM, en beslist vervolgens om al dan niet geldige groenestroomcertificaten toe te kennen. De VREG en de OVAM kunnen dus beslissen of een bepaalde stroom richting recyclage, dan wel energetische valorisatie dient te gaan:

- Voor onbehandeld houtafval adviseert de OVAM om de certificaten niet te aanvaarden voor de quotumverplichting van de elektriciteitsleverancier (OVAM, 2007b). In zo'n geval hebben de toegekende GSC een lagere economische waarde. Een belangrijke randbemerking is dat wanneer afvalhout (vb. zaagresten) geperst wordt tot houtpellets (en dus een product wordt en niet langer een afvalstof is, waardoor OVAM niet langer bevoegd is), de

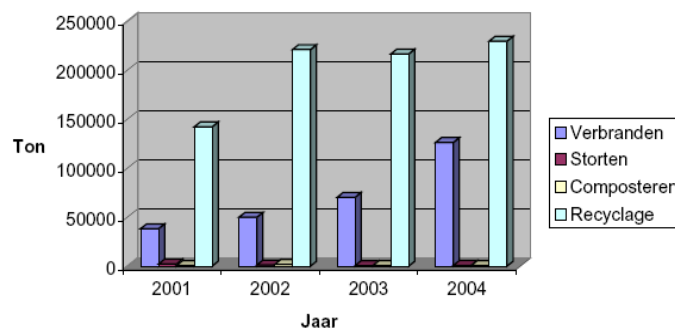
groenestroomcertificaten wél aanvaardbaar zijn voor de quotumverplichting indien ze verwerkt worden in 'oude'⁴ installaties.

- Voor behandeld niet-verontreinigd houtafval worden aanvaardbare GSC toegekend omdat het niet altijd zeker is of deze categorie voldoende zuiver is voor recyclage.

Daarnaast heeft de OVAM ook adviesbevoegdheid inzake milieuvergunningen. Voor de verbranding van onbehandeld houtafval adviseert de OVAM enkel gunstig wanneer dit voor warmteproductie gebeurt binnen de houtsector.

Verder zien OVAM en VREG af van een actieve sturing van de houtafvalstromen omdat dit een negatieve financiële impact kan hebben op de houtsector. Een houtverwerkend bedrijf dat zuiver houtafval produceert zou dat dan immers niet mogen afvoeren naar of gebruiken voor energetische valorisatie, ondanks het feit dat een betere prijs verkregen wordt voor dat houtafval bij de elektriciteitscentrales. De prijs van houtafval wordt uiteraard sterk beïnvloed door de toekenning van GSC. Sinds het invoeren van het GSC-systeem in 2004 en de handel in emissierechten is houtafval een gegeerde brandstof geworden bij de elektriciteitsproducenten voor zowel de productie van groene stroom als de reductie van de CO₂-emissies van steenkoolcentrales. Ook andere factoren zoals de stijgende prijzen van fossiele brandstoffen zorgen voor een toenemende vraag naar houtafval als brandstof. Als gevolg van deze marktwijzigingen nam de hoeveelheid verbrand houtafval jaar na jaar toe (Figuur 8). Houtafval dat vroeger werd uitgevoerd naar buitenlandse elektriciteitscentrales wordt steeds meer Vlaanderen ingezet voor energetische valorisatie.

Figuur 8: Verwerking van houtafval afkomstig van huishoudens, bedrijven (uitgezonderd houtbewerking) en bouw- en sloopactiviteiten (Vlaanderen, 2001-2004)



Bron: OVAM (2007b)

Het spanningsveld tussen recyclage en energiewinning is ook voelbaar bij stromen die wél onder het verbrandingsverbod vallen. Zo was er druk vanuit de industrie op het beleid om dierlijke vetten van categorie 3 en gebruikte frituurvetten en -oliën (GFVO) uit het verbrandingsverbod te halen en in aanmerking te laten komen voor GSC. Na overleg in 2007 met alle betrokken sectoren, heeft de Vlaamse Minister

⁴ zowel de stedenbouwkundige- als de milieuvergunningaanvraag werden ingediend vóór of op 1 juni 2007

van Openbare Werken, Energie, Leefmilieu en Natuur beslist om jaarlijks een contingent aan dierlijk vet categorie 3 en GFVO vrij te geven om te verbranden met energiewinning. Dit contingent startte vanaf januari 2009. Er is ook druk om snoeihout van particulieren en groenaannemers uit het verbrandingsverbod te halen.

5. Milieu-impact van verwerking – gevalstudie onbehandeld en behandeld niet-verontreinigd houtafval

Vanuit milieu-oogpunt is het belangrijk om voor iedere biologische afvalstroom de milieu-impact van de verschillende verwerkingswijzen te kennen. In deze studie worden de CO₂-emissies in 2008 van verschillende verwerkingsmogelijkheden voor onbehandeld en behandeld niet-verontreinigd houtafval vergeleken. Niet-verontreinigd houtafval is een grote afvalstroom⁵ die kan ingezet worden voor zowel energetische valorisatie als materiaalrecyclage (zie deel 4). Deel 5.1 worden de CO₂-emissies van de verschillende energetische valorisatiemogelijkheden onderling vergeleken. In deel 5.2 worden de CO₂-emissies van energetische valorisatie vergeleken met die van recyclage. Het is hierbij belangrijk te noteren dat de weergegeven cijfers met betrekking tot valuta en (vermeden) CO₂-emissies enkel dienen ter vergelijking en niet als absolute cijfers uit hun context mogen gerukt worden. Dit is immers een momentopname in een snel wijzigende context.

5.1. Vergelijking milieu-impact van de verschillende energetische valorisatiemogelijkheden

5.1.1. Vermeden CO₂-emissies

Grootste CO₂-reductie per GJ hout in 2008 in WKK en steenkoolcentrales

Zoals eerder uitgelegd voor biologisch afval, is de CO₂-reductie enerzijds afhankelijk van het rendement van de installatie en de CO₂-emissiefactor van de brandstof die vervangen wordt, en anderzijds van het energetisch rendement van de installatie waarin het houtafval wordt ingezet. Figuur 9 geeft de CO₂-reductie door energetische valorisatie van houtafval voor verschillende verwerkingsroutes en verschillende referentie-installaties voor warmteproductie en/of elektriciteitsproductie op basis van fossiele brandstoffen.

Met stookolie als referentie-brandstof voor warmteproductie geeft energetische valorisatie in een stookinstallatie in 2008 de grootste CO₂-reductie (1,33 ton CO₂/ton hout). De CO₂-reductie door energetische valorisatie in een WKK met hoog aandeel elektriciteit (geproduceerde elektriciteit/geproduceerde warmte = 0,5) is echter niet veel lager (1,28 ton CO₂/ton hout) en zo goed als gelijk met de CO₂-reductie door bijstook in een steenkoolcentrale (1,26 ton CO₂/ton hout). Dat WKK niet de hoogste CO₂-reductie heeft komt doordat de elektriciteitsproductie van de WKK eerder in de plaats komt van de elektriciteitsproductie op basis van gascentrales en aardgas een lagere emissiefactor heeft dan stookolie. Energetische valorisatie in een houtkachel (1,02 ton CO₂/ton hout) of een biomassacentrale (0,99 ton CO₂/ton hout) geven respectievelijk de vierde en de vijfde hoogste CO₂-reductie.

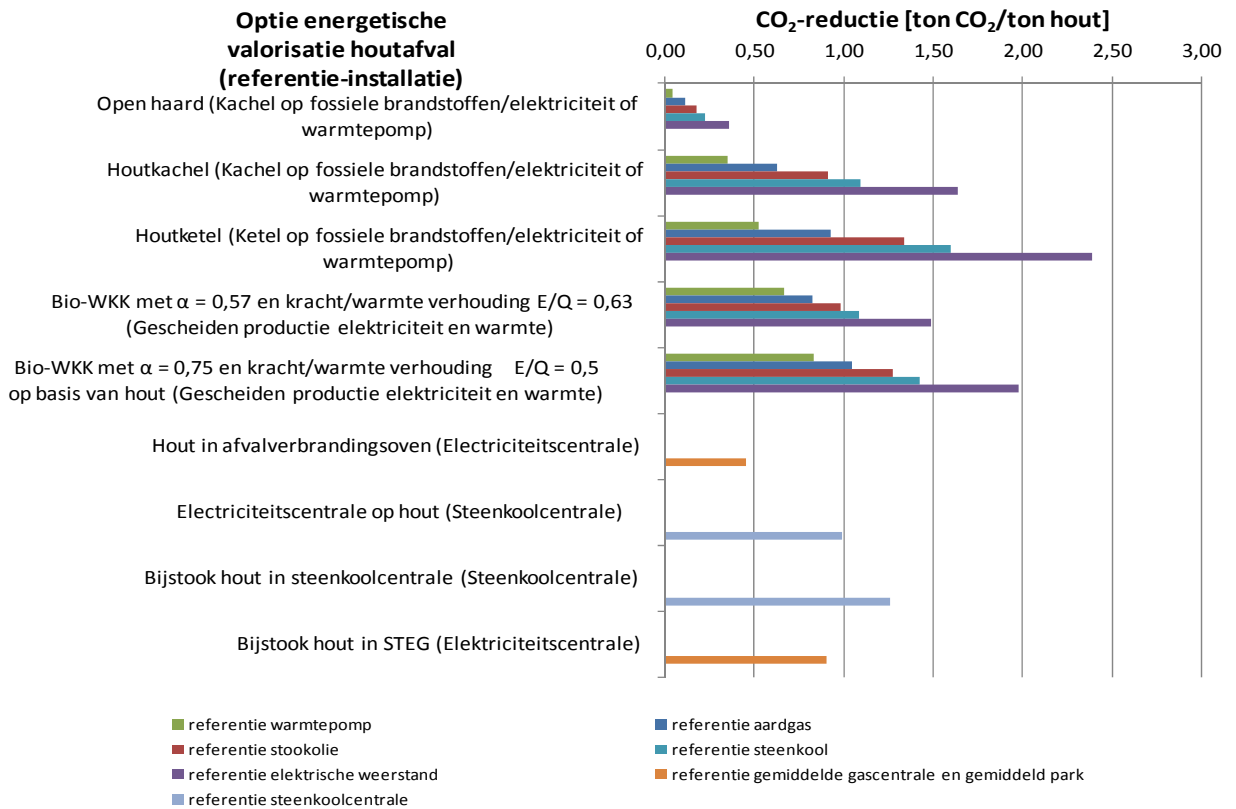
⁵ Niet-verontreinigd behandeld houtafval:

- al het huishoudelijk houtafval: 220 000 ton
- al het bouw- en sloophout: ca. 200-250 000 ton
- deel van houtverwerkende industrie: niet gekend, maar op basis van de vergunningen die aan de houtverwerkende industrie worden afgeleverd voor het verbranden van houtafval, kunnen we stellen dat ca. 60 % van de houtafvalproductie bestaat uit niet verontreinigd behandeld houtafval, dit is ongeveer 300 000 ton
- totaal: 720 000 – 770 000 ton; dit is 55-60 % van de geschatte 1,3 miljoen ton houtafval

Met aardgas als referentie-brandstof voor warmteproductie verandert de randschikking. Door de lagere emissiefactor van aardgas t.o.v. stookolie heeft bijstook in een steenkoolcentrale in 2008 de hoogste CO₂-reductie (1,26 ton CO₂/ton hout). De CO₂-reductie door energetische valorisatie in een WKK komt dan op de tweede plaats met 1,05 ton CO₂/ton hout en energetische valorisatie in een biomassacentrale komt op de derde plaats met 0,99 ton CO₂/ton hout. Energetische valorisatie in een stookinstallatie (0,92 ton CO₂/ton hout) of bijstook in een STEG (0,91 ton CO₂/ton hout) geven respectievelijk de vierde en de vijfde hoogste CO₂-reductie.

Enkel energetische valorisatie in WKK en bijstook in steenkoolcentrales kunnen zich in 2008 bijgevolg handhaven bij de drie opties met de hoogste CO₂-reductie ongeacht of stookolie of aardgas als referentie-brandstof voor warmteproductie wordt genomen. Voor WKK geldt dit wel enkel op voorwaarde dat het aandeel elektriciteit en de totale brandstofbenuttingsgraad voldoende hoog is. Met aardgas als referentie-brandstof en een WKK met een brandstofbenuttingsgraad van 0,57 daalt de CO₂-reductie tot 0,82 ton CO₂/ton hout t.o.v. 1,05 ton CO₂/ton hout voor een WKK met een brandstofbenuttingsgraad van 0,75. Verklaring hiervoor is de relatief hoge emissie van het gemiddeld elektriciteitspark. Hierdoor vermijdt het produceren van één GJ elektriciteit meer dan de productie van één GJ warmte met een aardgasketel als referentie. Naarmate het aandeel elektriciteit van de WKK stijgt, wordt bijgevolg een grotere CO₂-reductie bekomen. De twee berekende WKK's kunnen in de praktijk als uiterste gevallen beschouwd worden. Bij een lager aandeel van elektriciteit dan in het eerste geval zal de investering in een WKK waarschijnlijk economisch niet meer interessant zijn ten opzichte van een zuivere stookinstallatie. Installaties die een hoger aandeel van elektriciteit kunnen leveren dan in het tweede geval zijn commercieel nog niet beschikbaar.

Figuur 9: Gemiddelde CO₂-reductie in 2008 per valorisatie-optie van houtafval met verschillende referenties op fossiele brandstoffen voor warmteproductie en met het gemiddelde van het Belgisch elektriciteitspark zonder kerncentrales en een gascentrale als referentie voor elektriciteitsproductie. Voor steenkoolcentrales werd een steenkoolcentrale als referentie genomen (zie aannames)



Bron: berekening en K.U.Leuven (Tabel 26 in bijlage)

In Figuur 9 wordt ook voor een aantal minder courante referenties voor warmteproductie, zoals een warmtepomp, een elektrische weerstand of een stookinstallatie op steenkool de CO₂-reductie berekend in 2008. Door het hoge rendement van een warmtepomp is de CO₂-reductie met een warmtepomp als referentie nog lager dan bij aardgas als referentie. Aanwenden van houtafval voor elektriciteitsproductie in biomassacentrales zal een hogere CO₂-reductie hebben dan een warmtepomp te vervangen door een WKK (0,82 ton CO₂/ton hout). Bij warmteproductie op basis van houtafval met een elektrische weerstand als referentie is de CO₂-reductie veel hoger dan met stookolie als referentie-brandstof. Hoewel het energetisch rendement van weerstandsverwarming gelijk is aan 100 % geeft dit type verwarming, door de relatief hoge emissies van het gemiddeld elektriciteitspark, de grootste CO₂-uitstoot en bijgevolg de grootste CO₂-reductie bij vervanging door warmteproductie op basis van houtafval. Bij deze referentie is de CO₂-reductie van een stookinstallatie (2,39 ton CO₂/ton hout) of een WKK met hoog aandeel elektriciteit (1,98 ton CO₂/ton hout) veel hoger dan de CO₂-reductie door bijstook in steenkoolcentrales (1,26 ton CO₂/hout).

CO₂-emissie per GWh elektriciteit in 2008 laagst in WKK en zuivere biomassa centrales en hoogst in steenkoolcentrales met bijstook

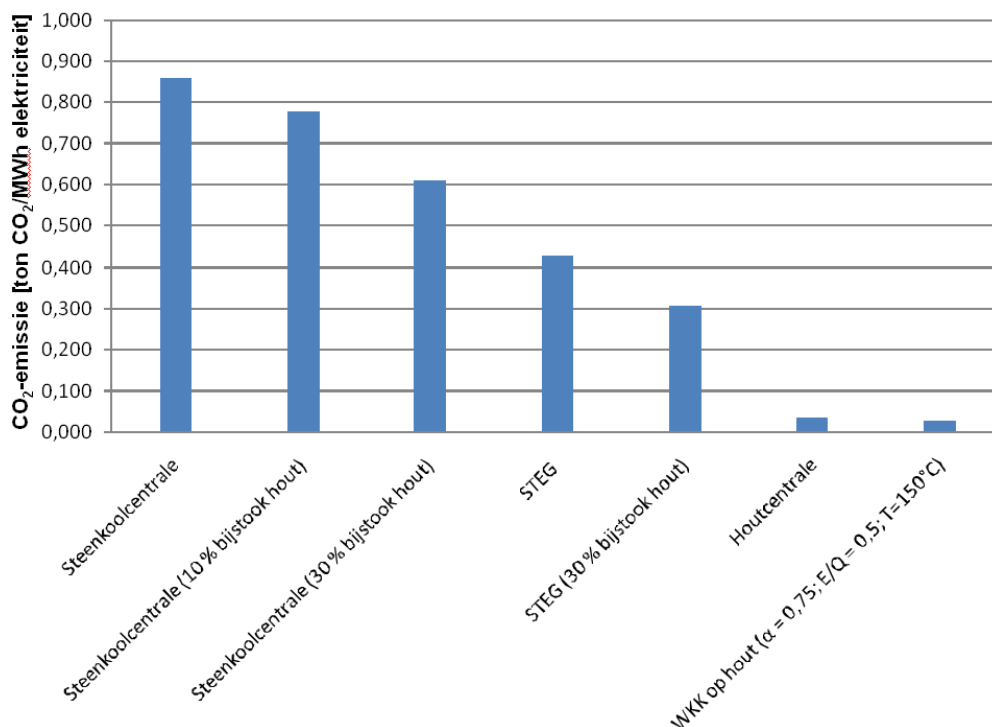
Hoewel het uitgangspunt van deze studie is voor een gegeven hoeveelheid houtafval die verwerkingsopties te identificeren die in 2008 de grootste CO₂-reducties opleveren, mag niet uit het oog verloren worden dat soms een even grote of zelfs grotere CO₂-reductie kan bekomen worden door om te schakelen van de ene fossiele brandstof naar de andere. Dit is zeker van belang als de productie van groene stroom op basis van houtafval voor verschuivingen zorgt in de elektriciteitsproductie op basis van verschillende fossiele brandstoffen, zoals aardgas of steenkool (zie verder). Een bepaalde hoeveelheid elektriciteit op basis van steenkool vervangen door eenzelfde hoeveelheid elektriciteit op basis van aardgas in een STEG levert bijvoorbeeld in 2008 een CO₂-reductie van 0,061 ton CO₂ per extra GJ aardgas (Tabel 26 in bijlage). Dit is slechts een derde kleiner dan de CO₂-reductie die wordt bekomen door bijstook van hout(afval) in steenkoolcentrales (0,084 ton CO₂/GJ hout, Tabel 26). Per GWh geproduceerde elektriciteit is in 2008 de CO₂-reductie door de elektriciteitsproductie op basis van steenkool te vervangen door elektriciteitsproductie op basis van aardgas zelfs vijf maal hoger dan door de elektriciteitsproductie op basis van steenkool te vervangen door elektriciteitsproductie op basis van een mengsel van 10 % houtafval en 90 % steenkool (0,432 t.o.v. 0,083 ton CO₂/kWh, Figuur 10). De CO₂-emissie per GWh elektriciteit op basis van houtafval in WKK en zuivere biomassa centrales is ongeveer twintig keer lager dan de CO₂-emissie van een steenkoolcentrale met 10 % bijstook van houtafval. Aangezien een zekere diversiteit in fossiele brandstoffen gewenst is (en zelfs noodzakelijk is met het oog op bevoorradingszekerheid), is het vervangen van alle steenkoolcentrales door STEG centrales geen optie. Bovendien beoogt deze studie niet een optimalisatie van de energiemix, maar wel een optimale inzet van houtafval.

Werkelijke CO₂-reductie door bijstook houtafval in steenkoolcentrales in 2008 lager door verschuivingen in de elektriciteitsproductie van STEG naar steenkoolcentrales

Bij de berekeningen van de CO₂-reducties werd verondersteld dat bijstook van biologisch afval geen invloed heeft op het aantal draaiuren van een steenkoolcentrale (zie aannames). Het feit dat het verschil in elektriciteitsproductiekosten tussen bestaande steenkoolcentrales en STEG's toeneemt met 34 % bij 10 % bijstook ten opzichte van het geval zonder bijstook (§ 7.1.1) kan er echter op korte termijn voor zorgen dat het totaal aantal draaiuren van steenkoolcentrales niet constant zal blijven zoals eerder verondersteld, maar juist zal toenemen ten koste van het aantal draaiuren van STEG-centrales. Hierdoor zal de werkelijke CO₂-reductie lager liggen dan de berekende CO₂-reductie met steenkool als referentiebrandstof aangezien de CO₂-emissies per kWh van een steenkoolcentrale met 10 % bijstook nog altijd 81 % hoger zijn vergeleken met een STEG (Figuur 10). Op lange termijn (bij uitbreiding van het elektriciteitspark of bij vervanging van een oude STEG) kan de verlaagde operationele kost aanleiding geven tot uitbreiding van het aandeel van de elektriciteitsproductie op basis van steenkool, indien de lagere operationele kosten opwegen tegen de hogere investeringskosten, en bestaat zelfs de mogelijkheid dat de CO₂-reductie door bijstook van biomassa wordt teniet gedaan. In 2008 waren alle steenkoolcentrales in Vlaanderen uitgerust met bijstook. Indien het aandeel van steenkoolcentrales met bijstook in de elektriciteitsproductie op basis van steenkoolcentrales en STEG's in de toekomst met 24 % zou stijgen ten opzichte van het geval zonder bijstook wordt

de CO₂-reductie door 10 % bijstook van houtafval volledig teniet gedaan (§ 7.1.1). De interactie met de andere centrales in het globale park is dus belangrijk en vereist een dynamische berekening voor een nauwkeurige schatting van de reële CO₂ emissiereducties.

Figuur 10: CO₂-emissie per GWh elektriciteit voor verschillende opties van elektriciteitsproductie in 2008



Bron: berekeningen K.U.Leuven (Tabel 27 in bijlage)

5.1.2. Andere emissies veroorzaakt door energetische valorisatie

In voorgaande analyses kwam enkel de (vermeden) CO₂-uitstoot gerelateerd aan energetische valorisatie in beeld. Maar het milieubeleid moet uiteraard ook rekening houden met andere parameters zoals emissies van zwevend stof, NO_x, zware metalen en dioxines. Voor de meeste verwerkingsopties van biologisch afval en houtafval in het bijzonder zijn er echter onvoldoende meetgegevens van andere emissies voorhanden (Goovaerts, 2009).

5.1.3. Steunmaatregelen voor elektriciteitsproductie op basis van houtafval in 2008

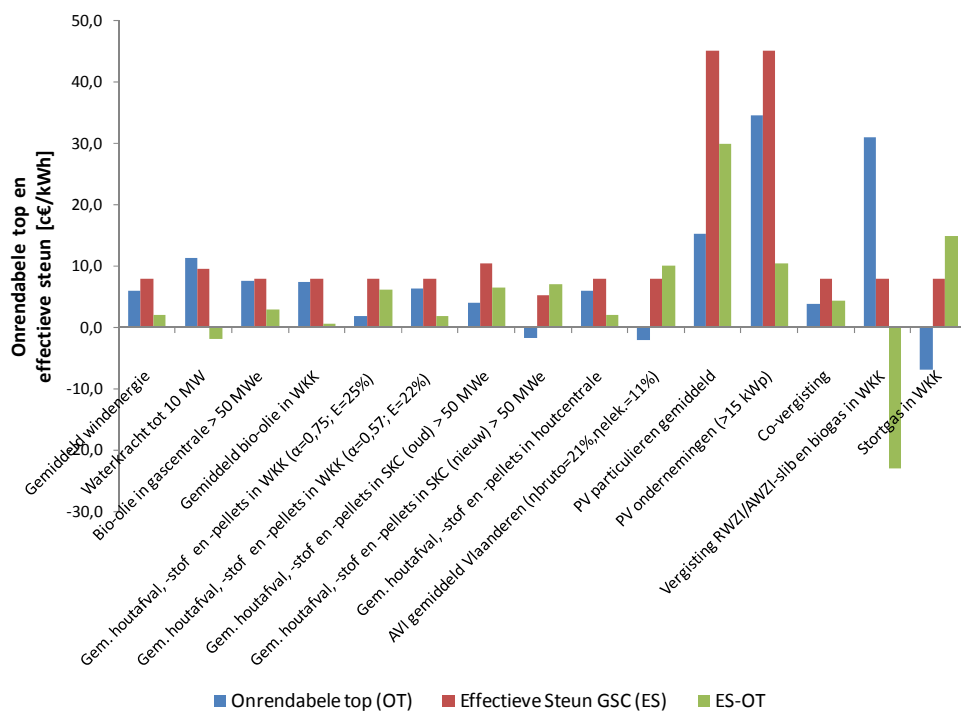
Het verschil tussen meerkost en effectief steunniveau kan sterk verschillen van technologie tot technologie. Dit kan ervoor zorgen dat bepaalde technologieën bevoorreed worden ten opzichte van andere. In Vlaanderen worden verschillende steunmaatregelen voor groene stroom toegepast: verhoogde investeringsaftrek, ecologiepremie, groenestroomcertificaten (GSC) en warmtekrachtcertificaten (WKC). Met de methode van de onrendabele top (OT) werd voor de situatie in 2008

nagegaan in hoeverre bepaalde technologieën bevoordeeld worden ten opzichte van andere technologieën en wat de invloed is van de prijs van de biomassa op de onrendabele top. De minimumvergoedingen uit WKC werden als inkomsten in rekening gebracht bij de berekening van de onrendabele top. De Vlaamse situatie werd voor 2008 tevens vergeleken met de Nederlandse waar gelijkaardige steunmaatregelen geïmplementeerd zijn. Door de uitzonderlijk hoge brandstof- en elektriciteitsprijzen in 2008 mag de absolute waarde van de onrendabele top niet als representatief beschouwd worden op lange termijn. Relatieve verschillen in de onrendabele top tussen verschillende brandstof-technologie combinaties, het voornaamste onderwerp van deze paragraaf, zullen echter veel minder afhankelijk zijn van elektriciteits- en brandstofprijzen, aangezien de verschillende brandstof- en elektriciteitsprijzen, zij het met enige vertraging, een gelijkaardige evolutie vertonen.

Verdere differentiatie van steunniveau per brandstof-technologie combinatie wenselijk

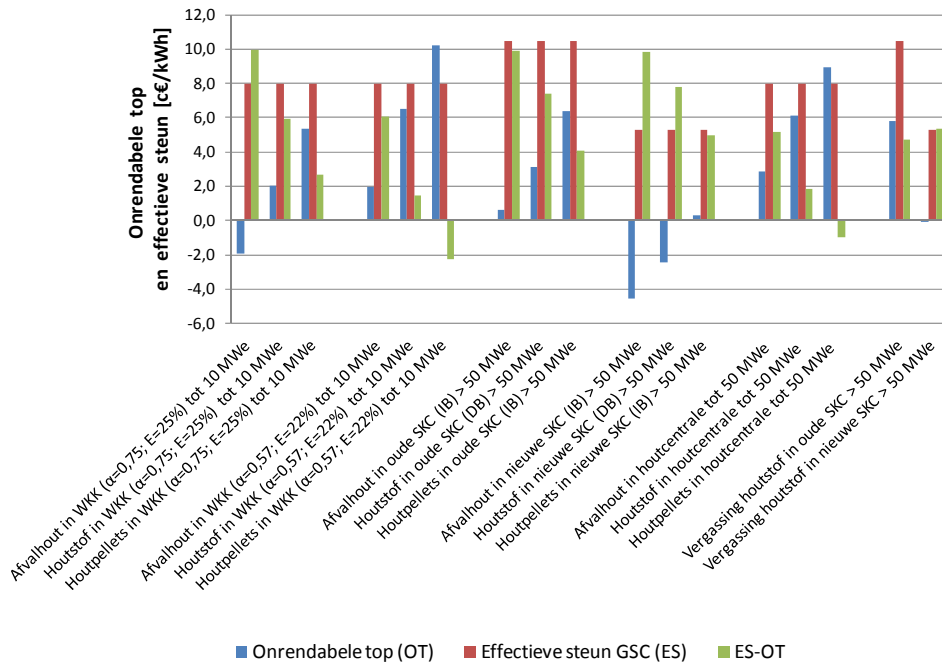
Figuur 11 illustreert dat de onrendabele top sterk kan verschillen naargelang de gebruikte technologie. Ook binnen categorieën met dezelfde minimumsteun voor GSC zijn de verschillen groot. De halvering van de steun door een halvering van het aantal toegekende certificaten voor bijstook in nieuwe steenkoolcentrales in 2010 lijkt zeer terecht.

Figuur 11: Verschil tussen minimumsteun GSC en onrendabele top voor verschillende technologieën voor productie groene stroom (situatie 2008)



Bron: berekeningen K.U.Leuven (Tabel 28 en tabel 29 in bijlage)

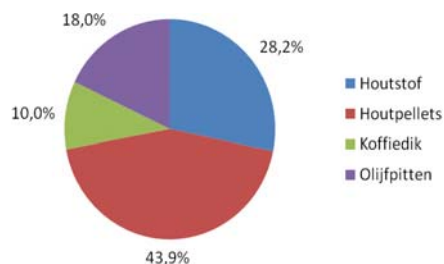
Figuur 12: Verschil tussen minimumsteun GSC en onrendabele top voor verschillende technologieën voor productie groene stroom op basis van houtafval en voor verschillende types houtafval (situatie 2008)



Bron: berekeningen K.U.Leuven (Tabel 28 in bijlage)

Figuur 12 illustreert dat de onrendabele top sterk kan verschillen naargelang het type houtafval. Voor een WKK met hoge brandstofbenuttingsgraad varieert de onrendabele top in 2008 van € -20/MWh voor afvalhout tot € 53/MWh voor houtpellets. Voor een nieuwe steenkoolcentrale (SKC) varieert de onrendabele top van € -43/MWh voor afvalhout tot € 3/MWh voor houtpellets. Voor een houtcentrale varieert de onrendabele top van € 28/MWh voor afvalhout tot € 89/MWh voor houtpellets. Belangrijkste reden voor de grote variatie in de onrendabele top is de prijs van houtafval. Afvalhout kost in 2008 ongeveer € 21/ton, houtstof € 60/ton en houtpellets € 115/ton. De steunbedragen sluiten het best aan bij de onrendabele top indien houtpellets worden aangewend (Figuur 12).

Figuur 13: Aandeel afvalstof in totaal vermogen bijstook in steenkoolcentrales in 2007

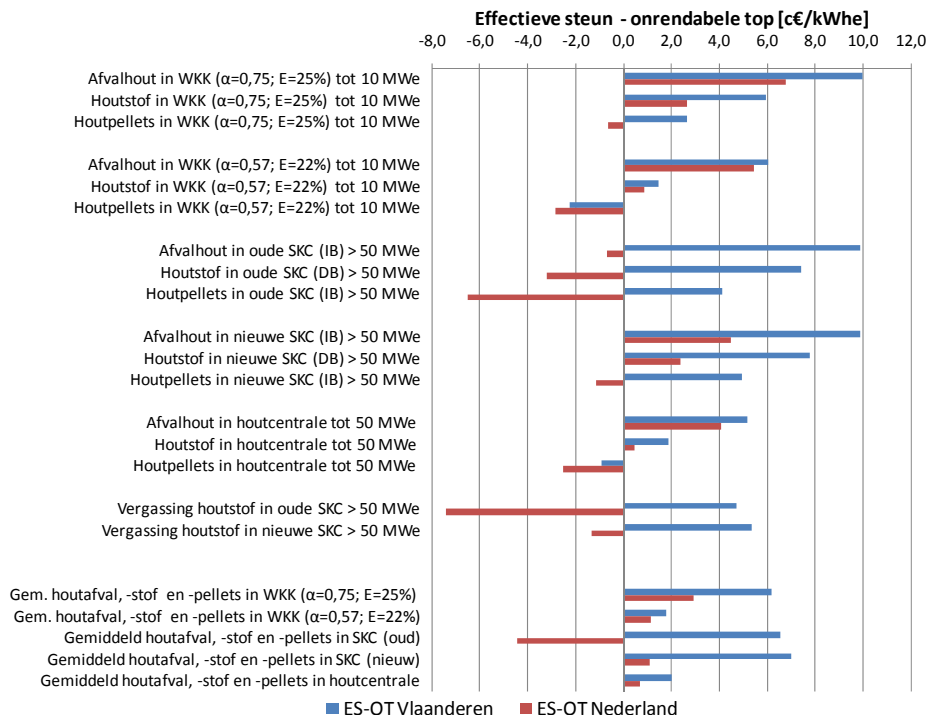


Bron: VREG (Tabel 30 in bijlage)

De elektriciteitsproducenten zijn echter niet verplicht houtpellets te gebruiken en in de praktijk worden vaak veel goedkopere brandstoffen gebruikt (Figuur 13). Minder dan de helft van het vermogen aan bijstook in Vlaanderen in 2008 is op basis van houtpellets (Figuur 13). De rest is vooral op basis van houtstof en olijfpitten. Voor deze brandstoffen en zeker ook voor afvalhout is er een grote discrepantie tussen de onrendabele top en het steunniveau (Figuur 12). Verdere differentiatie van de minimumsteun niet naar technologie alleen maar naar de combinatie van brandstof en technologie dringt zich bijgevolg op. Het is uiterst belangrijk dat bij verdere differentiatie regelmatig controles worden uitgevoerd op de werkelijk gebruikte brandstof en dat, in geval er veel goedkopere brandstoffen worden gebruikt dan op basis waarvan het steuntarief werd bepaald, boetes kunnen worden opgelegd. Zolang er echter geen goede en betrouwbare prijsindices voor biomassa en houtafval zijn, is het zeer moeilijk om met subsidietarieven te corrigeren voor verschillen in brandstofkosten. Bovendien dient de subsidie bij meestook bijna uitsluitend ter compensatie voor de hogere brandstofkosten, aangezien de omvorming van bestaande steenkoolcentrales naar bijstook een beperkte meerinvestering vraagt (Ministerie van Economische Zaken, 2008). Het ontbreken van relevante prijsindices voor biomassa is in Nederland een belangrijke reden geweest voor het afschaffen van de ondersteuning van groene stroom op basis van verbranding van biomassa in installaties groter dan 50 MW. Hiermee is voor de Nederlandse situatie de facto alle ondersteuning aan bijstook in steenkoolcentrales afgeschaft (Ministerie van Economische Zaken, 2008). Achteraf bleek in 64,4 % van de gevallen sprake te zijn geweest van overstimulering (Mulder, 2007).

Indien differentiatie praktisch niet haalbaar is, moet ten alle prijze vermeden worden dat de onrendabele top voor verschillende technologieën met een verschillende brandstofprijs wordt berekend. Wanneer bijvoorbeeld de steun voor elektriciteitscentrales op biomassa wordt bepaald op basis van de prijs voor houtpellets en de steun voor WKK op basis van de prijs voor houtafval, zullen dure hoogwaardige houtpellets in de praktijk richting biomassacentrales worden gestuurd, terwijl WKK operatoren zullen genoodzaakt zijn zich te beperken tot goedkope minderwaardige brandstoffen of in het slechtste geval met onvoldoende aanbod zullen geconfronteerd worden.

Figuur 14: Verschil in 2008 tussen effectief steunniveau en onrendabele top voor verschillende opties voor elektriciteitsproductie op basis van verschillende types houtafval in Vlaanderen en Nederland



Bron: berekeningen K.U.Leuven (Tabel 28 in bijlage)

In Nederland minder subsidies groene stroom op basis van houtafval in 2008

In Figuur 14 is het verschil in 2008 tussen het steunniveau en de onrendabele top weergegeven voor de belangrijkste opties voor energetische valorisatie van verschillende types houtafval voor zowel de Vlaamse als de Nederlandse situatie. Dit verschil geeft een indicatie van de rendabiliteit van de investering. Als het gemiddelde wordt genomen per technologie komt men tot een totaal andere rangschikking in rendabiliteit voor de verschillende situaties. Ook de grootte van het verschil tussen het steunniveau en de onrendabele top en dus de rendabiliteit, is sterk verschillend tussen Vlaanderen en Nederland. In Nederland bedroeg dit verschil in 2008 gemiddeld € 3/MWh groene stroom ten opzichte van € 50/MWh in Vlaanderen. Hierdoor is een investering in een installatie voor productie van groene stroom op basis van houtafval in Vlaanderen heel wat rendabeler dan in Nederland.

Het verschil tussen de minimumsteun voor groene stroom en de onrendabele top in Vlaanderen is in 2008 het laagst voor verwerking van houtafval in een WKK met lage brandstofbenuttingsgraad (€ 18 /MWh) en het hoogst voor bijstook in een nieuwe steenkoolcentrale (€ 70 /MWh). Voor verwerking in een WKK met hoge brandstofbenuttingsgraad is het verschil gelijk aan € 62 /MWh. Voor bijstook in een oude steenkoolcentrale is het verschil gelijk aan € 65 /MWh. Voor verwerking in een houtcentrale is het verschil tot slot gelijk aan € 20 /MWh.

Voor de Nederlandse situatie is in 2008 een WKK met hoge brandstofbenuttingsgraad met voorsprong de meeste rendabele optie (€ 29/MWh), terwijl voor de Vlaamse situatie die WKK in 2008 minder rendabel is dan een nieuwe steenkoolcentrale. Door het afschaffen van de steun voor bijstook wordt in de Nederlandse situatie bijstook enkel nog rendabel in nieuwe steenkoolcentrales, terwijl voor Vlaanderen bijstook zowel in een nieuwe als oude steenkoolcentrales rendabel blijven. In Nederland bedraagt het verschil tussen het steunniveau en de onrendabele top € 12/MWh in een nieuwe versus € -45/MWh in een oude steenkoolcentrale. Voor verwerking in een houtcentrale is het verschil € 7/MWh.

Bepaling steunniveau op basis van onrendabele top alleen onvoldoende

Zonder rekening te houden met de milieuperformantie in termen van CO₂-emissies komt het Nederlandse subsidieregime met lagere subsidietarieven dan in Vlaanderen (Figuur 29 in bijlage) tot een investeringsklimaat waarbij technologieën met lage CO₂-emissies per MWh geproduceerde elektriciteit, zoals een WKK, worden bevoordeeld (Figuur 10). Het is aan te raden om naast de onrendabele top ook rekening te houden met bijvoorbeeld de CO₂-reductie bij het bepalen van het steunniveau. Dit is op termijn ook nodig als men een stabiel investeringsklimaat wenst te creëren voor emissie-arme technologieën. Een installatie met een laag rendement en dus hogere CO₂-emissies kan immers omwille van hogere operationele kosten een hogere onrendabele top hebben dan een gelijkaardige installatie met een hoger rendement en dus lagere CO₂-emissies. In dat geval zal een steunmechanisme, dat enkel rekening houdt met de onrendabele top, meer steun verlenen aan de installatie met een laag rendement en dus hogere CO₂-emissies.

5.2. Vergelijking milieu-impact recyclage en energetische valorisatie

Eerder is voor verschillende opties van energetische valorisatie van houtafval de CO₂-reductie bepaald. Door recyclage van houtafval kan echter ook een CO₂-reductie gerealiseerd worden aangezien de CO₂-emissies voor de productie van een equivalente hoeveelheid nieuw/alternatief materiaal vermeden worden en de koolstof langer in het materiaal opgeslagen blijft. In wat volgt zullen de milieueffecten van recyclage en energetische valorisatie van onbehandeld en behandeld niet verontreinigd houtafval worden vergeleken. De twee scenario's zullen eerst geanalyseerd worden voor CO₂-emissies en daarna voor andere emissies.

5.2.1. Vermeden CO₂-emissies met gelijkaardige referentiematerialen

In een levenscyclusanalyse kunnen twee verschillende scenario's enkel met elkaar vergeleken worden indien de verwerking van éénzelfde functionele eenheid wordt beschouwd en de scenario's aan dezelfde randvoorwaarden voldoen. In geval van een vergelijking tussen recyclage en energetische valorisatie van houtafval, zal in beide scenario's de verwerking van 1 ton houtafval beschouwd worden. Deze scenario's zullen aan twee belangrijke randvoorwaarden moeten voldoen, namelijk in beide scenario's zal evenveel warmte en/of elektriciteit moeten opgewekt worden en zullen twee verschillende materialen éénzelfde functie moeten vervullen.

De bepaling van functioneel equivalente hoeveelheden van verschillende materialen is een eerste aspect dat de vergelijking tussen materiaalrecuperatie en energierecuperatie bemoeilijkt. Een gesubstitueerd equivalent materiaal is vaak moeilijk te berekenen. Materialen afgeleid van vers hout of houtafval zullen echter

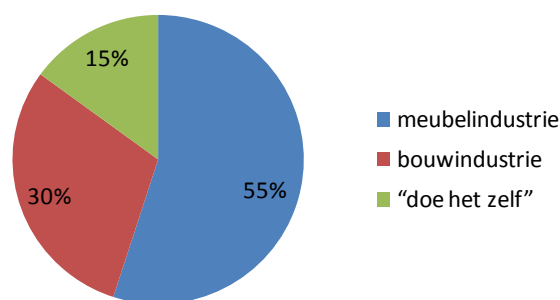
gelijkaardige karakteristieken hebben. Voor alle materialen met gelijkaardige karakteristieken werd hier verondersteld dat 1 ton recyclagemateriaal equivalent is met 1 ton referentiemateriaal.

Een tweede aspect waarmee rekening moet gehouden worden is dat hout als materiaal een koolstofreservoir vertegenwoordigt. Dit koolstofreservoir is een belangrijk voordeel van het gebruik van hout als materiaal ten opzichte van andere niet-biologische materialen. In deze studie wordt een methode toegepast die rekening houdt met de levensduur voor toekenning van CO₂-opslag aan houten producten (zie § 7.1.5). Hoe langer de levensduur van het product, hoe groter de toegekende CO₂-opslag. De toegekende CO₂-opslag wordt meestal berekend ten opzichte van een horizon van 100 jaar. Dit is de meest gebruikte horizon voor analyses in verband met klimaatverandering. De horizon van 100 jaar lijkt echter onrealistisch met betrekking tot belangrijke technologische doorbraken, zoals de efficiënte opslag van CO₂, die de komende 20 jaar worden verwacht. Daarom werd de CO₂-reductie door recyclage berekend voor twee verschillende horizons, namelijk 20 en 100 jaar.

Een derde aspect dat van belang is, is het tijdstip van de emissies. Een hoeveelheid CO₂, die vandaag wordt uitgestoten, zal over 25 jaar immers maar voor ongeveer 70 % in de atmosfeer aanwezig zijn omwille van de talrijke terugkoppelingen tussen de atmosfeer, de hydrosfeer, de cryosfeer, de biosfeer en de lithosfeer (zie § 7.1.6).

Tot slot wordt de CO₂-reductie door recyclage berekend op basis van het gemiddelde van de CO₂-reductie door energetische valorisatie van houtafval in een stookinstallatie met stookolie als referentiebrandstof (1,33 ton CO₂/ton hout) en de CO₂-reductie door energetische valorisatie in een kachel met aardgas als referentiebrandstof (0,67 ton CO₂/ton hout). Deze twee gevallen zullen in de praktijk goed overeenkomen met de opties voor energetische valorisatie met respectievelijk de grootste en kleinste CO₂-reductie en zullen bijgevolg aanleiding geven tot respectievelijk de kleinste en grootste CO₂-reductie door recyclage.

Figuur 15: Belangrijkste afzetmarkten voor spaanplaten in België



Bron: Jacobs (1998)

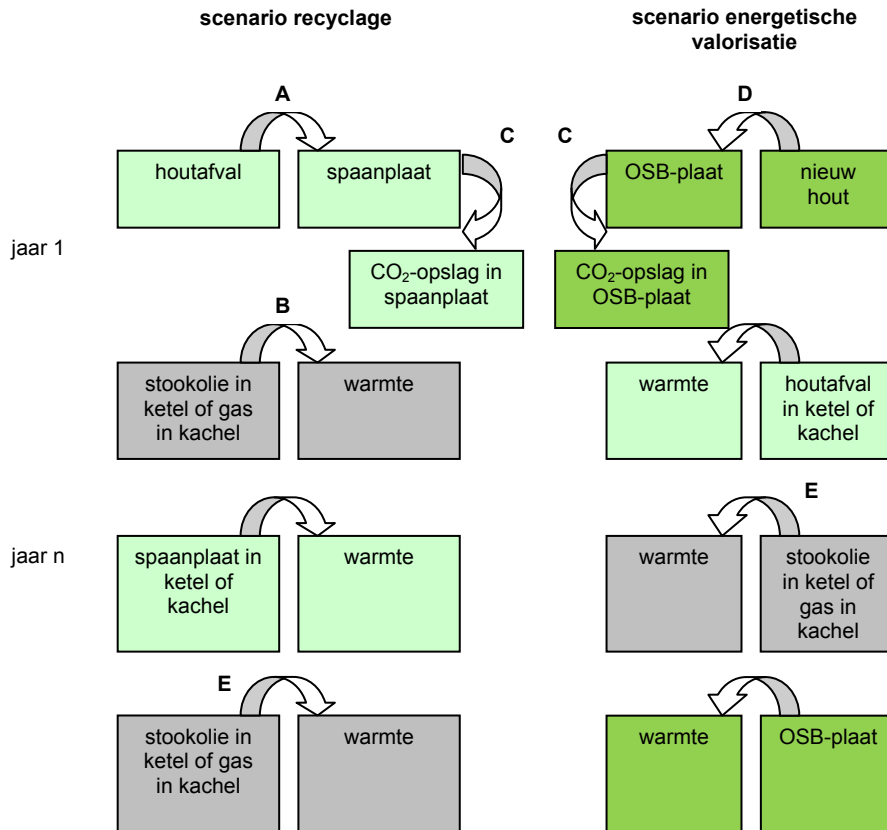
De belangrijkste optie voor materiaalvalorisatie van houtafval is de verwerking in spaanplaten (Fotij, 2009). De in België geproduceerde spaanplaten bestaan gemiddeld uit 40 % houtafval, 27 % houtsnippers, 17 % houtstof en slechts 16 %

rondhout (Tabel 30). Op basis van de belangrijkste afzetmarkten voor spaanplaten kunnen twee belangrijke cases onderscheiden worden: toepassing in de meubelindustrie enerzijds en toepassing in de bouw anderzijds. Bij toepassing van spaanplaat in de meubelindustrie zal een levensduur van 20 jaar gehanteerd worden en zullen uitsluitend houten referentiematerialen beschouwd worden (zie § 3.4.12). Bij toepassing van spaanplaat in de bouw zal ook gipsplaat als referentiemateriaal beschouwd worden en zal een levensduur van 40 jaar worden gehanteerd (zie § 3.4.12).

CO₂-reductie energetische valorisatie groter dan CO₂-reductie door recyclage tot spaanplaten bij toepassing in de meubelindustrie

In Figuur 16 is het schema weergegeven voor de berekening van de CO₂-reductie door recyclage tot spaanplaat met een biologisch materiaal (OSB-plaat) als referentie. In jaar 1 moet in het scenario recyclage eenzelfde hoeveelheid warmte opgewekt worden op basis van fossiele brandstoffen als in het scenario energetische valorisatie op basis van houtafval (B). In jaar 1 zullen ook de CO₂-emissies vrijkomen door de productie van respectievelijk de spaanplaat (A) en de OSB-plaat (D). Aan zowel de spaanplaat als de OSB-plaat zal éézelfde hoeveelheid opgeslagen CO₂ toegekend worden (C). In deze analyse zal het houtafval slechts één keer gerecycleerd worden tot een spaanplaat en wordt de OSB-plaat niet gerecycleerd. Op het einde van de levensduur wordt er vanuit gegaan dat zowel de spaanplaat als de OSB-plaat energetisch worden gevaloriseerd in dezelfde installatie als in jaar 1. De warmte die daarbij wordt opgewekt zal in beide scenario's moeten opgewekt worden op basis van fossiele brandstoffen (E).

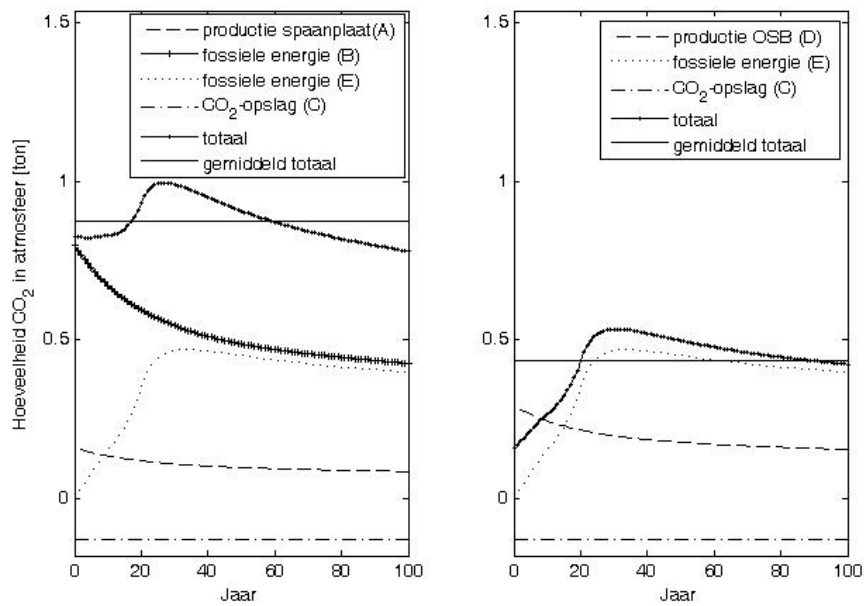
Figuur 16: Scenario 'recyclage' versus scenario 'energetische valorisatie' van houtafval voor biologisch referentiemateriaal



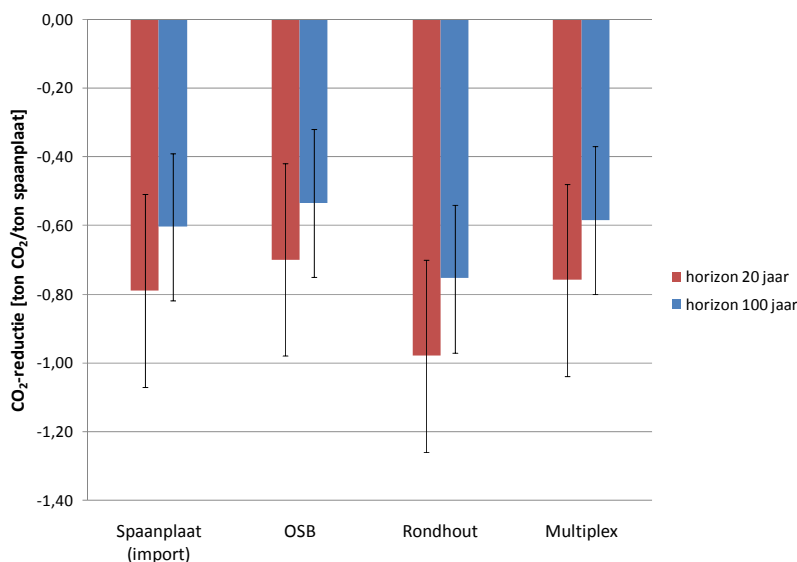
Enkel pijlen vergezeld van een hoofdletter vertegenwoordigen effectieve CO₂-emissies.

Figuur 17 geeft de evolutie van de hoeveelheid CO₂ in de atmosfeer weer in functie van de tijd. Door de initiële emissies via warmtegeneratie op basis van fossiele brandstoffen is de gemiddelde CO₂-emissie van het scenario recyclage merkkelijk hoger dan de CO₂-emissie bij energetische valorisatie van het houtafval. Het energetisch valoriseren van het houtafval en het vervaardigen van een OSB-plaat is dus te verkiezen boven het vervaardigen van een spaanplaat en energieproductie op basis van fossiele brandstoffen. Gelijkaardige resultaten worden bekomen voor andere biologische plaatmaterialen zoals geïmporteerde spaanplaat, multiplex en rondhout (Figuur 18). Over een periode van 100 jaar wordt voor de beschouwde referentiematerialen gemiddeld 0,54 tot 0,76 ton CO₂ vermeden per ton houtafval dat energetisch gevaloriseerd wordt (Tabel 31). De vermeden CO₂ emissie per ton houtafval dat energetisch gevaloriseerd wordt is lager voor een horizon van 100 jaar vergeleken met een horizon van 20 jaar omdat een groot deel van de emissies in het recuperatie scenario in het begin optreden en in de loop van de tijd uit de atmosfeer verdwijnen

Figuur 17: Evolutie van de hoeveelheid CO₂ in de atmosfeer voor het scenario recyclage tot spaanplaten voor de meubelindustrie (levensduur 20 jaar) (links) en voor het scenario energetische valorisatie van houtafval (rechts) met een biologisch materiaal (OSB-plaat) als referentiemateriaal en een stookolieketel als referentie voor energieproductie



Figuur 18: Minimale en maximale CO₂-reductie en gemiddelde van beide door recyclage van houtafval tot spaanplaten voor de meubelindustrie (levensduur 20 jaar) ten opzichte van energetische valorisatie van houtafval en vervanging door een referentiemateriaal. Minimale en maximale CO₂-reductie werden respectievelijk bepaald met een gaskachel en stookolieketel als referentie voor warmteproductie.

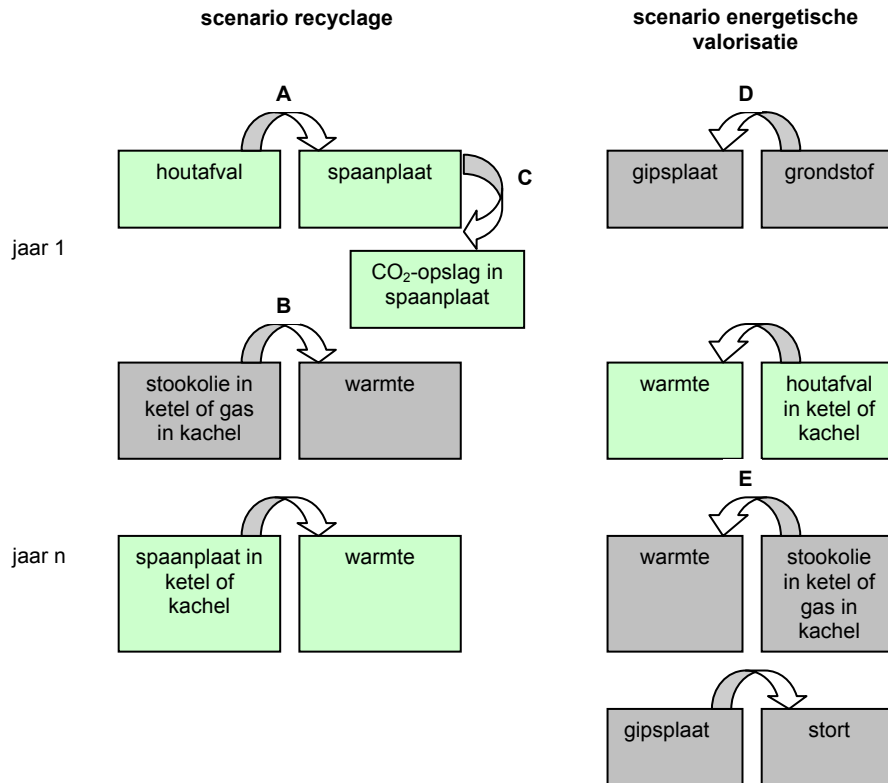


Bron: berekeningen K.U.Leuven (Tabel 31 in bijlage)

CO₂-reductie mogelijk door recyclage tot spaanplaten met gipsplaat als referentiemateriaal voor toepassing in de bouw

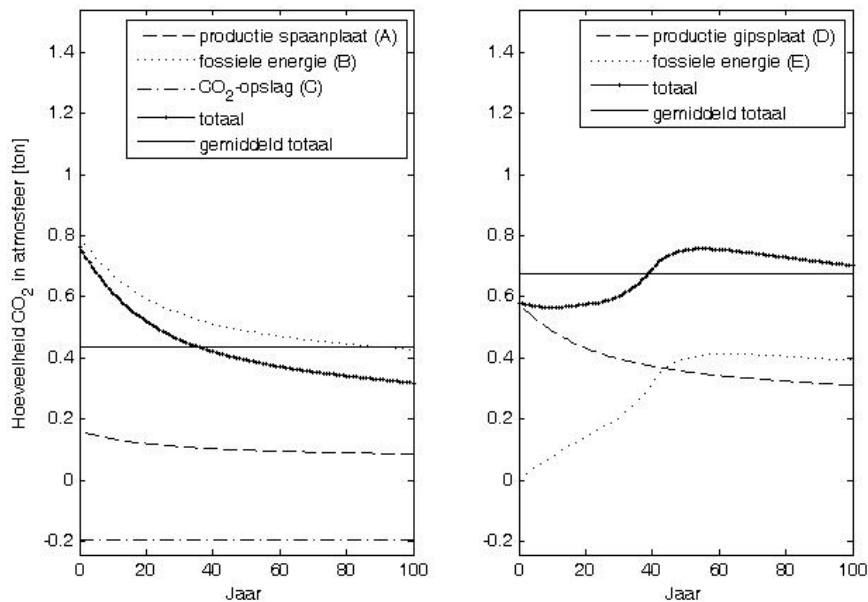
Voor toepassingen in de bouwsector als niet-dragende wand zal er naast substitutie van de eerder genoemde referentiematerialen ook mogelijkheid zijn tot substitutie van bijvoorbeeld gipsplaat, baksteen of stortbeton. Voor gipsplaat zal de equivalentie-veronderstelling vrij goed opgaan door de gelijkaardige dichtheid ten opzicht van spaanplaat (Tabel 31). Gipsplaat en rondhout worden meestal in LCA studies aangehaald als alternatief voor spaanplaten (Bergsma et al., 2001; Cornelissen & Hirs, 2002). De kostprijs van gipsplaten zal echter veel kleiner zijn dan de kostprijs van rondhout (en mogelijk ook andere producten op basis van nieuw hout), aangezien gips een afvalproduct is van diverse industriële processen. Voor toepassing als constructiemateriaal zal gipsplaat bijgevolg het meest voor de hand liggende alternatief zijn. Figuur 19 geeft het schema weer voor de berekening van de CO₂-reductie door recyclage tot spaanplaat met een niet-biologisch materiaal (gipsplaat) als referentie. Het verschil met het schema met een biologisch referentiemateriaal is dat aan het niet-biologisch referentiemateriaal geen CO₂-opslag kan toegekend worden en dat het referentiemateriaal verondersteld wordt gestort te worden op het einde van de levensduur.

Figuur 19: Scenario 'recyclage' versus scenario 'energetische valorisatie' van houtafval voor niet-biologisch referentiemateriaal



Enkel pijlen vergezeld van een hoofdletter vertegenwoordigen effectieve CO₂-emissies

Figuur 20: Evolutie van de hoeveelheid CO₂ in de atmosfeer voor het scenario recyclage tot spaanplaten voor toepassing in de bouw (levensduur 40 jaar) (links) en voor het scenario energetische valorisatie van houtafval (rechts) met een niet-biologisch materiaal (gipsplaat) als referentiemateriaal en een stookolieketel als referentie voor energieproductie



Figuur 20 toont de evolutie van de hoeveelheid CO₂ in de atmosfeer in functie van de tijd voor het scenario 'recyclage' en voor het scenario 'energetische valorisatie'. Zelfs voor een relatief lange levensduur van 40 jaar voor spaanplaten en de hoge vermeden emissies door brandstofsubstitutie (Figuur 20: B), zijn voor gipsplaten als referentie de vermeden emissies door materiaalsubstitutie (Figuur 20: D) voldoende groot om te compenseren voor het zwaarder doorwegen van de initiële fossiele brandstofemissies in het scenario recyclage (Figuur 20: B) ten opzichte van de veel later optredende fossiele brandstofemissies in het scenario energetische valorisatie (Figuur 20: E). Met andere woorden, ondanks de benadeling van het scenario recyclage door het zwaarder doorwegen van initiële emissies, geeft recyclage tot spaanplaten voor toepassing als constructiemateriaal met een gemiddelde levensduur van 40 jaar ten opzichte van energetische valorisatie in een stookinstallatie met stookolie als referentiebrandstof en gebruik van gipsplaten als alternatief een gemiddelde CO₂-reductie van 0,25 ton per ton hout (Tabel 31). Er kan verwacht worden dat bij een kortere horizon de initiële emissies in het scenario recyclage wel zullen doorwegen. Bij een kortere horizon zal echter ook de toegekende CO₂-opslag toenemen. Bij een horizon van 20 jaar stijgt de CO₂-reductie zelfs tot 0,83 ton CO₂/ton hout (Tabel 31). Over een periode van 100 jaar wordt voor alle beschouwde referentiematerialen (gipsplaat, baksteen, stortbeton, staalplaat, geïmporteerde spaanplaat, OSB, rondhout en multiplex) gemiddeld -0,35 tot 0,76 ton CO₂ vermeden per ton houtafval dat energetisch gevaloriseerd wordt (Tabel 31 en Figuur 21).

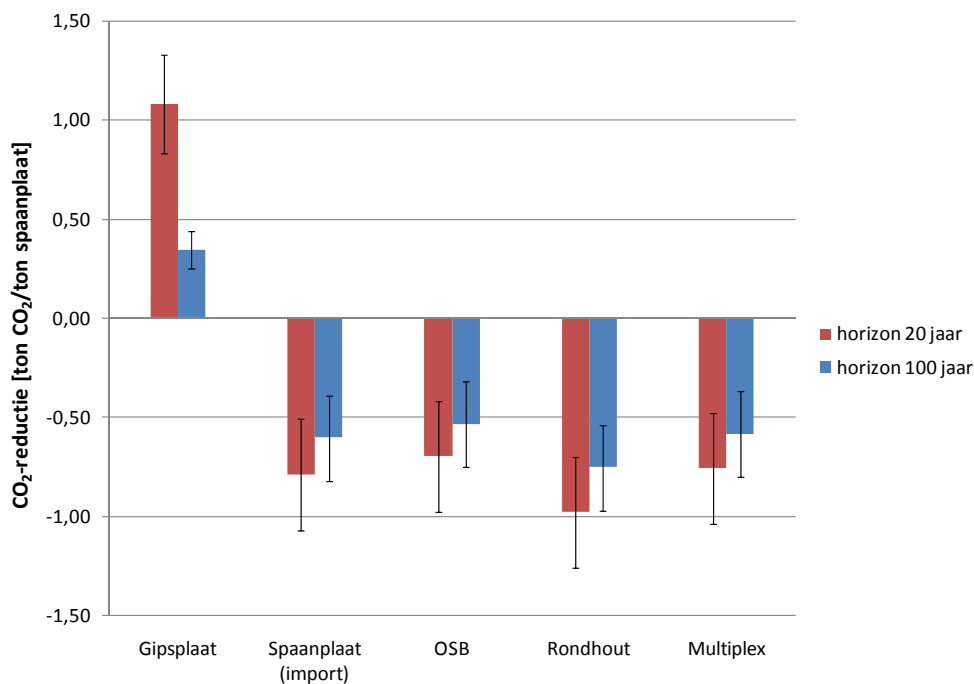
Enkel bij vervanging niet-biologisch materiaal mogelijkheid tot CO₂-reductie door recyclage van houtafval

Voor een gegeven levensduur en horizon kan ook berekend worden hoe groot het verschil in CO₂-emissies bij productie van het referentiemateriaal en het recyclageproduct minstens moet zijn opdat door recyclage een CO₂-reductie wordt bekomen ten opzichte van energetische valorisatie.

Met een levensduur van 40 jaar en een horizon van 100 jaar moeten de CO₂-emissies bij recyclage gemiddeld minstens 1 ton CO₂/ton houtafval lager liggen dan bij productie van een biologisch referentiemateriaal om een CO₂-reductie door recyclage te bekomen (Tabel 32). Dit is een zeer groot verschil gezien alle beschouwde biologische referentiematerialen een CO₂-emissie bij productie hebben tussen de 0,12 en 0,45 ton CO₂/ton houtafval (Tabel 31). In de praktijk zal het bijgevolg meestal beter zijn het houtafval energetisch te valoriseren indien het recyclageproduct een biologisch referentiemateriaal zou vervangen.

Met een niet-biologisch referentiemateriaal, een levensduur van 40 jaar en een horizon van 100 jaar mogen de CO₂-emissies bij productie van het recyclageproduct 0,06 ton CO₂/ton houtafval hoger liggen dan bij productie van het referentiemateriaal doordat aan het referentiemateriaal geen CO₂-opslag meer kan toegekend worden (Tabel 32). Bij een horizon van 20 jaar stijgt dit tot 81 ton CO₂/ton houtafval. Gezien de meestal hogere emissies bij productie van niet-biologische referentiematerialen kan hier wel aan voldaan worden (Tabel 31). Zeker wanneer voor een bepaalde toepassing, zoals bijvoorbeeld een niet-dragende wand, minder massa houtafval vereist is dan van een niet-biologisch referentiemateriaal, zoals baksteen.

Figuur 21: Minimale en maximale CO₂-reductie en gemiddelde van beide door recyclage van houtafval tot spaanplaten voor toepassing in de bouw (levensduur 40 jaar) ten opzichte van energetische valorisatie van houtafval en vervanging door een referentiemateriaal. Minimale en maximale CO₂-reductie werden respectievelijk bepaald met een gaskachel en stookolieketel als referentie voor warmteproductie.

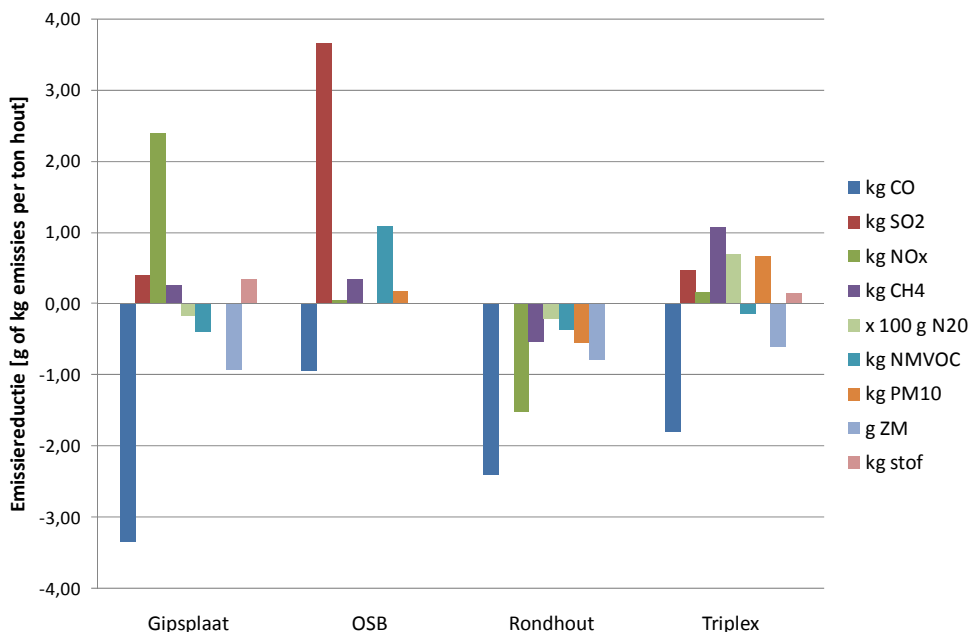


Bron: berekeningen K.U.Leuven (Tabel 31 in bijlage)

5.2.2. Andere emissies door recyclage

Tabel 34 en Tabel 35 in bijlage geven de reële emissies bij recyclage van hout en bij de productie van de eerder bestudeerde referentiematerialen, voor de belangrijkste pollutanten. Figuur 22 toont dat de emissies van CO, vluchtige organische stoffen en zware metalen bij recyclage van houtafval tot spaanplaten vaak hoger liggen dan bij de productie van de referentiematerialen op basis van vers hout en gipsplaat (zie § 7.1.7 voor aannames). Emissies van SO₂, NO_x en methaan liggen dan weer meestal lager.

Figuur 22: Gemiddelde emissiereductie door materiaalsubstitutie berekend op basis van reële emissies in de veronderstelling dat 1 ton hout equivalent is met 1 ton van een referentiemateriaal



Bron: berekeningen K.U.Leuven (zie Tabel 33 in bijlage)

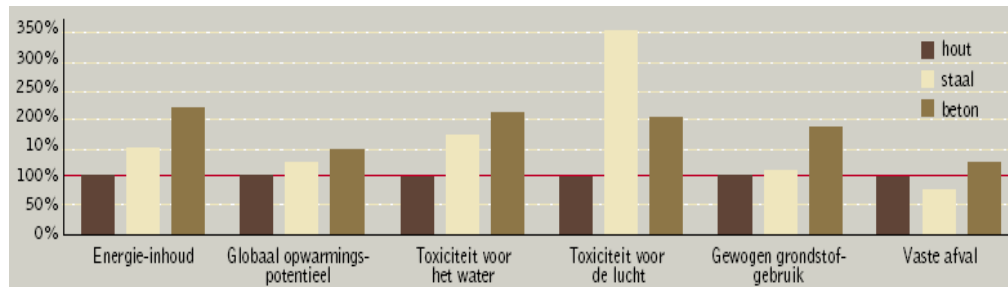
5.2.3. Vergelijking emissies van sterk verschillende materialen

Materialen afgeleid van vers hout of houtafval zullen gelijkaardige karakteristieken hebben. De meeste niet-biologische materialen hebben echter sterk verschillende karakteristieken, zoals onder andere een veel grotere dichtheid dan hout of van hout afgeleide producten. Voor deze materialen zal de veronderstelling dat 1 ton recyclagemateriaal equivalent is met 1 ton referentiemateriaal, niet opgaan.

Het belang van het vergelijken van functioneel equivalente hoeveelheden wordt geïllustreerd in Figuur 23. In deze figuur wordt de milieu-impact vergeleken van een woning opgetrokken met behulp van voornamelijk beton of staal en een houtskeletbouwwoning. Hierbij is wel rekening gehouden met functioneel equivalente hoeveelheden materiaal en zijn naast klimaatopwarmingspotentieel en emissies naar de lucht (toxiciteit voor de lucht) ook andere impactcategorieën onderzocht. Op basis van de emissies in Tabel 34 en Tabel 35 in bijlage zou verwacht worden dat het opwarmingspotentieel, vooral bepaald door de emissies van CO₂, CH₄ en N₂O, van een woning in staal de grootste zouden zijn. Door de grote sterkte van staal ten opzichte van beton, is echter veel minder materiaal vereist en is het klimaatopwarmingspotentieel van een stalen woning lager dan die van een woning uit beton. Voor andere luchtmissies lijkt de emissiereductie van gebruik van stortbeton groter dan van rondhout en gelamelleerd hout (multiplex) (Tabel 33). Toch is de milieu-impact van een woning uit beton voor wat betreft luchtmissies tot twee maal groter dan van een houtskeletbouwwoning. Dit illustreert nogmaals het belang om vergelijkingen tussen materialen, in het bijzonder niet-biologische materialen, te koppelen aan een bepaalde toepassing. Voor toepassing

in de woningbouw blijkt hout, behalve voor de impactcategorie vast afval, een lagere milieu-impact te hebben dan beton of staal.

Figuur 23: Milieu-impact van een houtskeletbouwwoning vergeleken met een woning opgetrokken uit voornamelijk staal of beton



Bron: The ATHENA Sustainable Materials Institute, Residential Case Study, 1999

5.2.4. Landgebruik

Tenslotte moet ook rekening gehouden worden met het landgebruik. Een naaldboomsoort heeft een gemiddelde primaire houtproductie van 6,5 m³/ha (Merl, 2007). Indien 908 kton afvalhout, de hoeveelheid die in 2005 gerecycleerd werd, moet vervangen worden door vers hout is een additioneel bosoppervlak vereist van 233 000 ha bij een houtdichtheid van 600 kg/m³. Dit komt overeen met 17 % van de oppervlakte van Vlaanderen.

5.2.5. Steunmaatregelen voor recyclage houtafval

In deel 5.2 werd het spanningsveld tussen recyclage en energetische valorisatie van niet verontreinigd houtafval beschreven. Het afvalbeleid geeft in principe de voorkeur aan recyclage boven energetische valorisatie. Dit principe wordt in de praktijk gebracht via onder meer het verbrandingsverbod voor selectief ingezamelde afvalstromen die in aanmerking komen voor recyclage. Door de uitzondering op het verbrandingsverbod voor hoogcalorische biologische afvalstromen staan voor een groot aantal afvalstromen, in het bijzonder houtachtige, recyclage en energetische valorisatie echter op hetzelfde niveau. Die afvalstromen worden vandaag richting energetische valorisatie geduwd door de variabele prijzen voor fossiele brandstoffen en de steunmaatregelen voor groene stroom.

Op basis van bovenstaande analyse kan besloten worden dat recyclage van houtafval in spaanplaten voor wat betreft CO₂-emissies en mogelijk ook voor sommige andere emissies waarschijnlijk te verkiezen is boven energetische valorisatie van houtafval gecombineerd met het gebruik van een ander niet-biologisch materiaal in de plaats van hout. Voor deze afvalstroom en dit type referentiemateriaal is het wettelijk gelijkwaardig stellen van energetische valorisatie en recyclage bijgevolg niet altijd gerechtvaardigd. Bij een biologisch referentiemateriaal is het gelijkwaardigstellen van energetische valorisatie en recyclage wel gerechtvaardigd.

Deze gelijkwaardigheid wordt trouwens door het bestaan van steunmechanismen voor groene stroom niet gerespecteerd: recyclage wordt, in tegenstelling tot

energetische valorisatie, niet financieel ondersteund. Bovendien is bij de analyse van steunmaatregelen voor energetische valorisatie gebleken dat het GSC-systeem niet noodzakelijk verwerking door de optie met het grootste emissiereductiepotentieel stimuleert. Integendeel, opties met een laag energetisch rendement hebben vaak een hoge onrendabele top.

6. Conclusies

Deze studie had tot doel een beter inzicht te verwerven in de milieu-impact van de verwerking van biologisch afval in het algemeen en niet-verontreinigd houtafval in het bijzonder. Hierbij werd gefocust op CO₂-emissies.

Voor biologisch afval werden de vermeden CO₂-emissies berekend voor de verdeling over de verwerkingsroutes voor energetische valorisatie in 2005. Gemiddeld werd iets meer CO₂ vermeden door productie van 1851 GWh warmte op basis van biologisch afval dan door productie van 618 GWh elektriciteit (576 kton CO₂ tegenover 451 kton CO₂). De grootste CO₂-reductie werd gerealiseerd door warmteproductie in stookinstallaties en bedroeg gemiddeld 536 kton CO₂. De tweede grootste CO₂-reductie werd gerealiseerd door bijstook in steenkoolcentrales en bedroeg ongeveer 315 kton CO₂. In totaal werd gemiddeld 1,03 Mton CO₂ vermeden door energetische valorisatie van biologisch afval of 1,2 % van de totale uitstoot van broeikasgassen in Vlaanderen in 2005.

Voor niet-verontreinigd houtafval werden de vermeden CO₂-emissies voor verschillende opties van energetische valorisatie in 2008 berekend en vergeleken met de vermeden CO₂-emissies door vervanging van verschillende materialen door van houtafval vervaardigde spaanplaten.

Met stookolie als referentie-brandstof voor warmteproductie geeft in 2008 energetische valorisatie in een stookinstallatie de grootste CO₂-reductie per GJ hout (1,33 ton CO₂/ton hout). De CO₂-reductie door energetische valorisatie in een WKK met hoog aandeel elektriciteit (geproduceerde elektriciteit/geproduceerde warmte = 0,5) is echter niet veel lager (1,28 ton CO₂/ton hout) en zo goed als gelijk aan de CO₂-reductie door bijstook in een steenkoolcentrale (1,26 ton CO₂/ton hout). Met aardgas als referentie-brandstof voor warmteproductie heeft in 2008 bijstook in een steenkoolcentrale de hoogste CO₂-reductie per GJ hout (1,26 ton CO₂/ton hout). De CO₂-reductie door energetische valorisatie in een WKK komt dan op de tweede plaats met 1,05 ton CO₂/ton hout en energetische valorisatie in een biomassa-centrale komt op de derde plaats met 0,99 ton CO₂/ton hout.

Werkelijke CO₂-reductie door bijstook van houtafval in steenkoolcentrales kan lager zijn dan hier berekend door mogelijke verschuivingen in de elektriciteitsproductie van STEG centrales naar steenkoolcentrales door de lagere operationele kosten door bijstook van houtafval. Indien het aandeel van steenkoolcentrales in de elektriciteitsproductie op basis van steenkoolcentrales en STEG's in de toekomst met 24 % zou stijgen ten opzichte van het geval zonder bijstook wordt de CO₂-reductie door 10 % bijstook van houtafval volledig teniet gedaan. De CO₂-emissies per MWh van een steenkoolcentrale met 10 % bijstook zijn immers nog altijd 81 % hoger dan van een STEG. Per MWh elektriciteit heeft in 2008 een WKK de laagste CO₂-uitstoot (27 kg CO₂/MWh) op de voet gevolgd door zuivere biomassa-centrales (37 kg CO₂/MWh). De uitstoot van een steenkoolcentrale met 10 % bijstook is ongeveer twintig keer hoger (777 kg CO₂/MWh).

Met de methode van de onrendabele top werd ook voor elektriciteitsproductie op basis van houtafval nagegaan voor de situatie in 2008 of de opties met de grootste CO₂-reductie ook het meest worden ondersteund en wat de invloed is van de prijs van de biomassa op de onrendabele top. Voor een WKK met hoge brandstofbenuttingsgraad varieert de onrendabele top van € -20/MWh voor afvalhout tot € 53/MWh voor houtpellets. Voor een nieuwe steenkoolcentrale varieert de onrendabele top van € -43/MWh voor afvalhout tot € 3/MWh voor houtpellets. Voor een houtcentrale varieert de onrendabele top van € 28/MWh voor afvalhout tot € 89/MWh voor houtpellets. De steunbedragen sluiten het best aan bij de onrendabele top indien houtpellets worden aangewend. De elektriciteitsproducenten zijn echter niet verplicht om houtpellets te gebruiken en in de praktijk worden vaak veel goedkopere brandstoffen gebruikt. Verdere differentiatie van de minimumsteun, niet naar technologie alleen maar naar de combinatie van brandstof en technologie, dringt zich bijgevolg op. Bovendien is het uiterst belangrijk dat bij verdere differentiatie regelmatig controles worden uitgevoerd op de werkelijk gebruikte brandstof en dat, in geval er veel goedkopere brandstoffen worden gebruikt dan op basis waarvan het steuntarief werd bepaald, boetes kunnen worden opgelegd. Zolang er echter geen goede en betrouwbare prijsindices voor houtafval zijn, is het zeer moeilijk om te corrigeren voor verschillen in brandstofkosten aan de hand van subsidietarieven. Indien differentiatie praktisch niet haalbaar is, moet ten alle prijze vermeden worden dat de onrendabele top voor verschillende technologieën met een verschillende brandstofprijs wordt berekend. Wanneer de steun voor elektriciteitscentrales op biomassa wordt bepaald op basis van de prijs voor houtpellets en de steun voor WKK op basis van de prijs voor houtafval (cfr. Moorkens, 2010), zullen dure hoogwaardige houtpellets in de praktijk richting biomassacentrales worden gestuurd, terwijl WKK operatoren zullen genoodzaakt zijn zich te beperken tot goedkope minderwaardige brandstoffen of in het slechtste geval met onvoldoende aanbod zullen geconfronteerd worden.

Zonder rekening te houden met de milieuperformantie in termen van CO₂-emissies komt het Nederlandse subsidieregime in 2008 met lagere subsidietarieven vergeleken met Vlaanderen tot een investeringsklimaat waarbij technologieën met lage CO₂-emissies per MWh geproduceerde elektriciteit, zoals een WKK, worden bevoorreed. Dit is louter toevallig aangezien in Nederland ook geen rekening wordt gehouden met de milieuperformantie in termen van CO₂-emissies. De lagere tarieven in Nederland zijn vooral een gevolg van het feit dat de tarieven jaarlijks worden aangepast in functie van de geldende elektriciteitsprijs. Hierdoor blijft de rendabiliteit van de investering constant, terwijl de subsidiekosten bij hoge elektriciteitsprijzen dalen. Voor de Nederlandse situatie is een WKK met hoge brandstofbenuttingsgraad met voorsprong de meest rendabele optie, terwijl voor de Vlaamse situatie die WKK minder rendabel is dan een nieuwe steenkoolcentrale. Door het afschaffen van de steun voor bijstook wordt in de Nederlandse situatie bijstook enkel nog rendabel in nieuwe steenkoolcentrales, terwijl voor Vlaanderen bijstook zowel in nieuwe als oude steenkoolcentrales rendabel blijft. Het moet echter mogelijk zijn om naast de onrendabele top ook rekening te houden met de CO₂-reductie. Het kan immers niet de bedoeling zijn dat technologieën met een lage efficiëntie, en dus lage CO₂-reductie, en een hoge onrendabele top meer ondersteund worden dan technologieën met een hoge efficiëntie, en dus hoge CO₂-reductie, en een lage onrendabele top. Dit kan tijdelijk wel voor zeer innoverende projecten, maar langdurige ondersteuning van mature technologieën met een lage CO₂-reductie dient vermeden te worden.

In het algemeen moeten de CO₂-emissies bij recyclage gemiddeld minstens 1 ton CO₂/ton houtafval lager liggen dan bij productie van een biologisch referentiemateriaal om een CO₂-reductie door recyclage te bekomen. In de praktijk zal het bijgevolg meestal beter zijn het houtafval energetisch te valoriseren indien het recyclageproduct een biologisch referentiemateriaal zou vervangen. Met geïmporteerde spaanplaat of producten op basis van vers hout, zoals OSB, triplex of rondhout, als alternatief voor Belgische spaanplaat in de meubelindustrie, kan gemiddeld 0,54 tot 0,76 ton CO₂ per ton houtafval vermeden worden door energetische valorisatie.

Met een niet-biologisch referentiemateriaal mogen de CO₂-emissies bij productie van het recyclageproduct 0,06 ton CO₂/ton houtafval hoger liggen dan bij productie van het referentiemateriaal doordat aan het referentiemateriaal geen CO₂-opslag meer kan toegekend worden. Gezien de meestal hogere emissies bij productie van niet-biologische referentiematerialen kan bij vervanging van deze materialen door spaanplaat wel een CO₂-reductie worden bekomen door recyclage. Met gipsplaat als alternatief voor spaanplaat in de bouw kan gemiddeld 0,35 ton CO₂ per ton houtafval vermeden worden door recyclage ten opzichte van energetische valorisatie.

Emissies van CO, vluchtige organische stoffen en zware metalen zijn bij recyclage van houtafval tot spaanplaten vaak hoger dan bij de productie van de referentiematerialen op basis van vers hout en gipsplaat. Emissies van SO₂, NO_x en methaan liggen dan weer meestal lager.

Indien alle afvalhout dat in 2008 gerecycleerd werd, moet vervangen worden door vers hout is een additioneel bosoppervlak vereist van 233 000 ha. Dit komt overeen met 17 % van de oppervlakte van Vlaanderen.

Tot slot werden een aantal onderwerpen voor verder onderzoek geïdentificeerd:

- Deze studie baseert zich op de situatie voor niet-verontreinigd houtafval in 2008. De evoluties met betrekking tot biomassa, en houtafval in het bijzonder, gaan echter enorm snel. Daarom is het aangewezen om deze studie regelmatig te actualiseren en verder te verdiepen, bij voorkeur in combinatie met de berekening van de onrendabele top.
- Er werd geen dynamische analyse van het elektriciteitspark uitgevoerd zodat de vermeden CO₂ emissie door elektriciteitsproductie op basis van biologisch afval slechts met een beperkte nauwkeurigheid kon bepaald worden. Uit een dynamische analyse moet blijken in hoeverre de CO₂-reductie door bijstook van houtafval in steenkoolcentrales wordt tegengegaan door verschuivingen in het elektriciteitspark ten gevolge van deze bijstook. Een gelijkaardige analyse moet toelaten om ook voor warmteproductie de vermeden CO₂ emissie nauwkeuriger te bepalen.
- In deze studie werd noodgedwongen op CO₂-emissies gefocust. Uitgebreide meetcampagnes volgens gestandaardiseerde procedures moeten het in de toekomst mogelijk maken om de milieu-impact van de verschillende opties voor energetische valorisatie van houtafval ook voor andere emissies te evalueren.
- De berekende onrendabele toppen voor elektriciteitsproductie op basis van houtafval dienen vergeleken te worden met de onrendabele toppen voor zuivere warmteproductie en recyclage tot spaanplaten om te bepalen of ondersteuning van zuivere warmteproductie of recyclage nodig is. Aanvulling van de onrendabele toppen met andere parameters zoals CO₂-reductie bij de bepaling

van het steunniveau moet vermijden dat minder rendabele investeringen met een hoge CO₂-emissie meer worden ondersteund dan meer rendabele investeringen met een lage CO₂-emissie.

- Een belangrijk aspect in het vergelijken van energetische valorisatie en recyclage van houtafval is de bepaling van een equivalente hoeveelheid van een bepaald referentiemateriaal om het recyclageproduct in geval van energetische valorisatie te vervangen. Deze equivalente hoeveelheid kan sterk variëren naargelang de toepassing en het gekozen referentiemateriaal. Vooral voor niet-biologische materialen is het belangrijk dat hier verder onderzoek op wordt verricht aangezien substitutie van deze materialen door recyclageproducten op basis van houtafval aanleiding kan geven tot een hogere CO₂-reductie dan door energetische valorisatie.

Referenties

- Aernouts K. & Jespers K. (2007) Energiebalans Vlaanderen 2005, VITO.
- Aernouts K. & Jespers K. (2009) Energiebalans Vlaanderen 2007, VITO.
- Artikel 2 van het Samenwerkingsakkoord betreffende de preventie en het beheer van verpakkingsafval (Datum Staatsblad: 04.11.2008)
- Bergsma, G., Croezen H., Bello O. (2001) De netto CO2-emissie van hergebruik en energieproductie uit afval vergeleken – Case studie voor afvalhout, mest, kunststof en papier, CE, Delft.
- BRE Environmental Profiles database. <http://cig.bre.co.uk/envprofiles/document.jsp>
- Brinkmann A.J.F. (2000) Vergisting van vast afval praktijkervaringen en perspectieven in de Nederlandse context. Grontmij Water & Reststoffen.
- CEI-bois (2006) Tackle climate change – Use wood,. <http://www.cei-bois.org/>
- CEPF, CEPI (2003) The European forestry and forest-based industries' (EU FBI) views on the hierarchy for the use of renewable resources.
- Commissie Ampère (2000) Warmte-kracht koppeling (WKK). Hoofdstuk 4, sectie D, hoofdverslag Commissie Ampère.
- Cornelissen L.R. & Hirs G.G. (2002) The value of the exergetic life cycle assessment besides the LCA. *Energy Conversion and Management* 43: 1417–1424.
- CWape (2005) Décision relative à "la définition des rendements annuels d'exploitation des installations modernes de référence, définis en application de l'article 2, 3° du décret du 12 avril 2001 relatif à l'organisation du marché régional de l'électricité (CD-5j18-Cwape).
- CWape (2007) Rapport annuel spécifique 2007 sur 'l'évolution du marché des certificats verts' établi en application de l'article 29 de l'arrêté du Gouvernement wallon du 30 novembre 2006 relatif à la promotion de l'électricité verte (CD-8f24-CWape).
- Den Boer L.C.E., Brouwer F.P.E., van Essen H.P. (2008) STREAM - Studie naar TRansport Emissies van Alle Modaliteiten – Versie 2.0, CE.
- Delarue E. & D'Haeseleer W. (2008) Greenhouse gas emission reduction-potential by means of fuel switching in electricity generation: addressing the potentials. *Energy Conversion and Management*, 2008; 49:843-853.
- Europese Commissie (2005) Mededeling van de Commissie - Steun voor elektriciteit uit hernieuwbare energiebronnen (SEC(2005 1571).
- Fedustria (2007) Jaarverslag 2006-2007, Fedustria, Brussel.
- Fotij A. (2009) Verwerking van houtafval: grondige analyse van het spanningsveld tussen energie- en materiaalrecuperatie, Meesterproef K.U.Leuven, Master Energie, 2009.
- Goovaerts L., Van der Linden A., Goovaerts L., Moorkens I. en Vrancken K. (2009) Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor verbranding van hernieuwbare brandstoffen – Finaal, Vito, Mol.
- Jacobs A. en Dijkmans R. (1998) Beste beschikbare technieken (BBT) voor de productie van spaanplaten, Vito, Mol.
- Larson E.D., Williams R.H. and Leal M.L.R.V. , (2001) A review of biomass integrated-gasifier/gas turbine combined cycle technology and its application in sugarcane industries, with an analysis for Cuba. *Energy for Sustainable Development* 5:1.
- LNE (2008) Milieuhandhavingsrapport 2006, Afdeling Milieu-inspectie, LNE, Brussel.

- Merl A. D. (2007) Reuse, Recycling and energy generation of recovered wood from building construction – showcase Vienna. 3rd European COST 31 Conference – Management of recovered wood. Proceedings, Klagenfurt, Austria, 2007.
- Minaraad (2001) Advies van de Mina-Raad van 20 december 2001 over het ontwerp van uitvoeringsbesluit inzake de openbaredienstverplichting ter bevordering van elektriciteitsopwekking in kwalitatieve warmtekrachtinstallaties, Minaraad, Brussel.
- Minaraad (2005) Advies van de Mina-Raad van 28 april 2005 over de duurzaamheidsaspecten van bio-energie, Minaraad, Brussel.
- Minaraad (2007) Advies van de Mina-Raad van 22 maart '07 over het voorontwerp van besluit van de Vlaamse Regering tot wijziging van bepalingen inzake groenestroomcertificaten, Minaraad, Brussel.
- Miner R., Characterizing carbon sequestration in forest products along the value chain – prepared for the climate change working group of the international council of forest and paper associations (ICFPA), 2003
- Ministerie van economische zaken (2008) MR aanwijzing categorieën duurzame energieproductie SDE - Regeling van de Minister van Economische Zaken van 3 maart 2008, nr.WJZ 8024254, houdende aanwijzing van categorieën productie-installaties voor de stimulering van duurzame energieproductie in het jaar 2008 (Regeling aanwijzing categorieën duurzame energieproductie 2008)
- Moorkens I., Claes K., Polders C. en Vercaemst P. (2005) Onrendabele toppen van duurzame elektriciteitsopties in Vlaanderen, Vito, Mol.
- Moorkens I., Vangeel S. en Vos D. (2010) Onrendabele toppen van duurzame elektriciteitsopties 2010, Vito, Mol.
- Mulder M., Korteland M.H. en Blom M.J. (2007) Overwinsten bij de subsidieregeling Milieukwaliteit Elektriciteitsproductie (MEP) - Een analyse van omvang en achtergrond, CE, Delft.
- Keuken H. & Varwijk J. (2007) Mogelijkheden benutting industriële restwarmte Process Design Center Nederland. Presentatie op MIP-studiedag van 7 maart 2007.
- OVAM (2004) Uitvoeringsplan Houtafval 2004-2008, OVAM, Mechelen.
- OVAM (2005) De kringloopcentra in het Vlaamse gewest: opvolgingsverslag 2004, OVAM, Mechelen.
- OVAM (2007a) Inventarisatie biomassa 2005, OVAM, Mechelen.
- OVAM (2007b) Voortgangsrapportage 2006 Uitvoeringsplan Houtafval 2004-2008, OVAM, Mechelen.
- Peeters E., Aernouts K. en Daems T. (2007) WKK-inventaris Vlaanderen - Stand van zaken 2005, Vito, Mol..
- Petersen A.K. & Solberg B. (2005) Environmental and economic impacts of substitution between wood products and alternative materials: a review of micro-level analyses from Norway and Sweden. Forest Policy and Economics; 7: 249-259.
- RTS Building Information Foundation, Finland, Environmental Reporting for Building Materials, 1998 – 2001, http://www.rts.fi/ymparistoseloste/valid_declarations.htm
- Six D. en Dexters A. (2009) Oriënterende studie micro-warmtekrachtkoppeling in Vlaanderen, Vito, Mol.
- The ATHENA Sustainable Materials Institute (1999) Residential Case Study.
- Van der Drift A., van Doorn J., Derijcke E. en Uitzinger J. (2007) Warmte uit biomassa – vergelijking van bio-WKK, kachel en SNG. ECN, 2007.
- Vanderstraeten P. (2001) Energie-en milieu-impact van huishoudelijke houtverbranding – Eindrapport, Vito, Mol.

- Van Steertegem (eindred.) (2007) MIRA-T 2007 Indicatorrapport, Milieurapport Vlaanderen, Vlaamse Milieumaatschappij, Aalst.
- Van Tilburg X., Cleijne J.W., Pfeiffer E.A., Lensink S.M. en Mozaffarian M. (2007). Technisch-economische parameters van duurzame elektriciteitsopties in 2008-2009 - Conceptadvies basisbedragen voor de SDE-regeling, ECN.
- VEA (2008) Limitatieve technologieënlijst - Technologieën alfabetisch gerangschikt per type - Geldig van 17 september 2008 t.e.m. 23 december 2008, VEA.
- Vrancken K. (2001) Vergelijking van verwerkingsscenario's voor restfractie van HHA en niet-specifiek categorie II bedrijfsafval, Vito, Mol.
- VREG (2006) Rapport van de Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteits- en Gasmarkt van 13 januari 2006 met betrekking tot de resultaten van de enquête "Gedrag en ervaringen van huishoudelijke energieafnemers op de geliberaliseerde Vlaamse energiemarkt", VREG, Brussel.
- VREG (2007) Marktmonitor 2007, VREG, Brussel.
- VREG (2007) Lijst met de productie-installaties waaraan groenestroomcertificaten worden toegekend

Lectoren

- Michel Aerts, Els Thoelen, Electrabel
- Annemie Bollen, secretariaat SERV
- Eddy Graauwmans, Indaver
- Ann Braekevelt, Anne Vandeputte, OVAM
- Sara Van Dyck, Bond Beter Leefmilieu Vlaanderen
- Tine Deheegher, Marc Moons, Boerenbond
- Dirk Uyttendaele, secretariaat Minaraad
- Marc Van den Bosch, VOKA - Vlaams Economisch Verbond
- Francies Van Gijzeghem, ODE
- Ive Vanderreydt, VITO
- Patrick Wilmots, Departement Leefmilieu, Natuur en Energie

VEA en VREG waren betrokken als lector bij deze studie. Ze wensen zich echter niet te verbinden met het eindrapport omdat er voor de analyses m.b.t. steun aan groene stroom (p. 43-p. 48) een te grote discrepantie is ontstaan tussen de onderzochte situatie (situatie 2008) en de huidige en mogelijk relevante situaties in de toekomst. VEA en VREG oordelen, net als de auteurs van dit rapport, dat verder onderzoek in een breder kader nodig is. MIRA erkent dit en heeft begrip voor dit standpunt maar geeft aan dat een studie steeds een momentopname is, en is van oordeel dat een beschrijving van de toestand anno 2008 en een aantal aanbevelingen op basis daarvan voldoende meerwaarde bieden om publicatie te rechtvaardigen.

Fedustria was betrokken als lector bij deze studie, maar wenst zich echter niet te verbinden met het eindrapport. Reden hiervoor is dat de gevalstudie niet-verontreinigd houtafval slechts ingaat op een beperkt deel van een groot verhaal. Fedustria oordeelt dat onderzoek in een breder kader nodig is en verwijst naar het rapport "Timmer aan minder klimaatverandering: gebruik hout!", het groenboek dat Fedustria in samenwerking met de Europese federaties van de houtindustrie

publiceerde, voor een overzicht van alle elementen waarmee rekening moet worden gehouden. MIRA heeft begrip voor dit standpunt maar geeft aan dat de scope voldoende duidelijk afgebakend is, en is van oordeel dat de resultaten voldoende meerwaarde bieden om publicatie te rechtvaardigen.

Begrippen

Afval: elke stof of elk voorwerp waarvan de houder zich ontdoet, zich voornemt te ontdoen of zich moet ontdoen.

Huishoudelijk afval: alle afvalstoffen ontstaan door de normale werking van een particuliere huishouding en afvalstoffen die daarmee gelijkgesteld worden. Huishoudelijk afval bestaat uit de selectief ingezamelde huishoudelijke afvalstoffen en de niet-selectief ingezamelde huishoudelijke afvalstoffen (huisvuil, grofvuil en gemeentevuil).

Bedrijfsafval: alle afvalstoffen die voortvloeien uit een industriële, ambachtelijke of wetenschappelijke activiteit en de afvalstoffen die daarmee gelijkgesteld worden. Bedrijfsafval omvat dus zowel industrieel afval als afval van de tertiaire sector.

Energiehoudend afval: afval dat omwille van zijn calorische inhoud energetisch gevaloriseerd kan worden.

Biomassa: de biologisch afbreekbare fractie van producten, afvalstoffen en residuen van de landbouw, de bosbouw en aanverwante bedrijfstakken, alsmede de biologisch afbreekbare fractie van industrieel en huishoudelijk afval (besluit van de Vlaamse regering van 5 maart 2004 inzake de bevordering van elektriciteitsopwekking uit hernieuwbare energiebronnen).

Biologisch afval: de biologisch afbreekbare fractie van huishoudelijk afval en bedrijfsafval. Het wordt beschouwd als een specifieke biomassa-stroom (besluit van de Vlaamse regering van 5 maart 2004 inzake de bevordering van elektriciteitsopwekking uit hernieuwbare energiebronnen).

Recyclage: het in een productieproces opnieuw verwerken van afvalmaterialen voor het oorspronkelijke doel of voor andere doeleinden, met inbegrip van organische recyclage maar uitgezonderd terugwinning van energie; (Samenwerkingsakkoord betreffende de preventie en het beheer van verpakkingsafval Datum 04.11.2008)

Organische recyclage: aërobe behandeling (compostering), of anaërobe behandeling (biomethaanvorming), via micro-organismen en onder gecontroleerde omstandigheden van biologisch afbreekbare bestanddelen van verpakkingsafval, waarbij gestabiliseerde organische reststoffen of methaan tot stand komen. Storten wordt niet als organische recyclage beschouwd; (Samenwerkingsakkoord betreffende de preventie en het beheer van verpakkingsafval Datum 04.11.2008)

Organisch-biologisch bedrijfsafval: verzamelnaam voor de organische bedrijfsafvalstoffen die vallen binnen de scope van het uitvoeringsplan organisch-biologisch bedrijfsafval 2000. Het gaat onder meer om afvalstoffen van de voedings- en genotmiddelenindustrie, distributiesector, horeca, haven, veilingen, tuinbouw, papier-, textiel-, tabakssector, enz.

Verontreinigd behandeld houtafval: houtafval dat als gevolg van een behandeling met houtbeschermingsmiddelen of van het aanbrengen van een beschermingslaag, gehalogeneerde organische verbindingen dan wel zware metalen kan bevatten, met inbegrip van met name dergelijk houtafval dat afkomstig is van constructie- en sloopafval (Vlaam II, artikel 1.1.2.)

Afkortingen

ECN: Energiecentrum Nederland

GSC: groenestroomcertificaat

LCA: levenscyclusanalyse

STEG: stoom- en gasturbine of gasturbine met gecombineerde cyclus

Vlarea: Vlaams reglement inzake afvalvoorkoming en –beheer

VLAREM: Vlaams reglement milieuvergunningen

WKC: warmtekrachtcertificaat

WKK: warmtekrachtkoppeling

7. Bijlage

7.1. Aannames

7.1.1. Keuze referentie-installatie voor berekening CO₂-reductie groene stroom

Een economische optimalisatie zal bepalen waar een elektriciteitscentrale zich bevindt in de stapeling van elektriciteitscentrales van het Belgische elektriciteitspark. De goedkoopste centrales (d.w.z. de centrales met de kleinste marginale kost) zitten helemaal onderaan de stapeling en voor deze centrales is de kans praktisch onbestaande dat hun belasting verlaagd wordt bij injectie van een beperkte hoeveelheid groene stroom op het net. De nucleaire centrales zijn veruit de goedkoopste centrales en deze zullen bijgevolg altijd voor basislast zorgen. De plaats van de steenkoolcentrales (met en zonder bijstook van biomassa) en de gascentrales in de stapeling kan berekend worden op basis van de marginale kosten van elektriciteitsproductie, dit zijn de kosten voor de productie van één extra GJ elektriciteit. Wanneer de marginale kosten van één centrale hoger liggen dan van een andere, zal de eerste centrale zijn productie eerder verlagen bij de injectie van een hoeveelheid groene stroom op het net.

De marginale kosten voor klassieke centrales worden in belangrijke mate bepaald door de brandstofkosten en de CO₂-emissiekosten. Door de marginale kostenfunctie van twee centrales aan elkaar gelijk te stellen, kan bijvoorbeeld bepaald worden bij welke brandstofprijs de plaats in de stapeling zal wijzigen. Door vergelijking van deze brandstofprijs met de gemiddelde brandstofprijs in 2008 kan dan de plaats van de elektriciteitscentrale in de stapeling bepaald worden. Voor centrales met bijstook van biomassa moeten de opbrengsten uit GSC in mindering gebracht worden van de marginale kosten. Opbrengsten uit de verkoop van elektriciteit worden verondersteld gelijk te zijn voor verschillende centrales en komen dus niet voor in de vergelijking van de marginale kosten.

De marginale kosten van elektriciteitsproductie werden vergeleken voor vier verschillende gevallen:

1. Biomassa versus steenkool in steenkoolcentrale
2. Gascentrale versus steenkoolcentrale
3. Gascentrale versus steenkoolcentrale met bijstook biomassa
4. Gascentrale met bijstook biomassa versus steenkoolcentrale

Voor alle gevallen werd de steenkoolprijs als vast beschouwd en werd de gas- en/of biomassaprijs berekend voor een gelijke plaats in de stapeling. In de praktijk zal de steenkoolprijs ook de kleinste volatiliteit vertonen. Er werd gebruik gemaakt van volgende marginale kosten functies (Delarue, 2008):

1. Steenkoolcentrale

$$MC_t = \frac{PF_t}{\eta_t} + \frac{HUA_P \cdot E_t}{\eta_t} \quad \left[\frac{\text{€}}{\text{GJ}_t} \right]$$

2. Gascentrale

$$MC_g = \frac{PF_g}{\eta_g} + \frac{EUA_p \cdot E_g}{\eta_c} \left[\frac{\text{€}}{\text{GJ}_g} \right]$$

3. Enkel bijstook biomassa

$$MC_b = \frac{PF_b}{\eta_b} - \frac{GSC_{minp}}{3,6} \left[\frac{\text{€}}{\text{GJ}_g} \right]$$

4. Steenkoolcentrale met bijstook biomassa

$$MC_{c+b} = X_c \cdot \left[\frac{PF_b}{\eta_b} - \frac{GSC_{minp}}{3,6} \right] + (1 - X_c) \cdot \left[\frac{PF_c}{\eta_c} + \frac{EUA_p \cdot E_c}{\eta_c} \right] \left[\frac{\text{€}}{\text{GJ}_g} \right]$$

5. Gascentrale met bijstook biomassa

$$MC_{g+b} = X_g \cdot \left[\frac{PF_b}{\eta_{bg}} - \frac{GSC_{minpg}}{3,6} \right] + (1 - X_g) \cdot \left[\frac{PF_g}{\eta_{gf}} + \frac{EUA_p \cdot E_g}{\eta_{gf}} \right] \left[\frac{\text{€}}{\text{GJ}_g} \right]$$

In Tabel 1 kan uitleg bij de gebruikte symbolen en data teruggevonden worden.

Tabel 1: Gebruikte symbolen en data voor berekening marginale kosten

Symbol	Waarde	Eenheid	Uitleg
PFc =	2	€/GJ	Steenkoolprijs
PFg =	5,7	€/GJ	Gasprijs
PFbmin =	1,4	€/GJ	Minimale biomassaprijs 21 €/ton houtafval en 15 GJ/ton
PFbmax =	6,6	€/GJ	Maximale biomassaprijs 115 €/ton houtpellets en 17,5 GJ/ton
Ec =	0,097	ton CO2/GJ	Emissiefactor steenkool
Eg =	0,061	ton CO2/GJ	Emissiefactor aardgas
ηc =	0,406	-	Huidig rendement steenkoolcentrale
ηcf =	0,45	-	Toekomstig rendement steenkoolcentrale
ηg =	0,501	-	Huidig rendement STEG
ηgf =	0,55	-	Toekomstig rendement STEG
ηb =	0,365	-	Rendement bijstook biomassa in steenkoolcentrale
ηbig =	0,43	-	Toekomstig rendement bijstook biomassa in STEG
EUAp =	20	€/ton CO2	CO2-emissiekost
GSCminp =	80	€/MWh	Minimumsteun GSC voor bijstook in oude steenkoolcentrale
GSCminpc =	60	€/MWh	Minimumsteun GSC voor bijstook in nieuwe steenkoolcentrale
GSCminpg =	90	€/MWh	Minimumsteun GSC voor bijstook in STEG
Xc =	0,1	-	Aandeel bijstook biomassa met steenkool op basis van energie-inhoud
Xg =	0,1	-	Aandeel bijstook biomassa met aardgas op basis van energie-inhoud

Alle kostendata overgenomen uit de OT-studie. Rendementen en emissiefactoren uit Tabel 26. PF_b werd berekend als het gemiddeld van PF_{bmin} en PF_{bmax}.

Biomassa versus steenkool in steenkoolcentrale

Marginale kosten van beide gevallen gelijkstellen ($MC_c = MC_b$), geeft een biomassaprijs van € 11,65/GJ of € 175/ton met 15 GJ/ton. Boven deze prijs zal elektriciteitsproductie op basis van steenkool goedkoper zijn dan op basis van biomassa. Deze prijs ligt veel hoger dan de gangbare prijzen voor biomassa en

zeker voor houtafval (Tabel 1). Steenkoolcentrales met bijstook van biomassa zullen zich dus onder gewone steenkoolcentrales in de stapeling bevinden en zullen altijd de maximaal toegelaten hoeveelheid biomassa bijstoken. Zonder minimumsteun via GSC ligt de prijs op € 53/ton wat nog altijd dubbel zo hoog is vergeleken met de prijs voor houtafval. De marginale kostprijs voor elektriciteitsproductie voor een gemiddelde houtprijs van € 59,8/ton is zelfs negatief en bedraagt € -41/MWh.

Gascentrale versus steenkoolcentrale

Marginale kosten van beide gevallen gelijkstellen ($MC_c = MC_g$), geeft een gasprijs van € 3,64/GJ of € 0,12/m³ met 0,03165 GJ/m³. Boven deze prijs zal elektriciteitsproductie in een steenkoolcentrale goedkoper zijn dan in een gascentrale. Deze prijs ligt echter een pak lager dan de gemiddelde prijs voor aardgas in 2008 (€ 5,7/GJ of € 0,18/m³, Tabel 1). Een gascentrale zal zich dus boven een steenkoolcentrale in de stapeling bevinden. Bij de geldende brandstofprijzen in 2008 is de marginale kost voor elektriciteitsproductie in een steenkoolcentrale en een STEG respectievelijk gelijk aan € 34,9/MWh en € 49,6/MWh.

Gascentrale versus steenkoolcentrale met bijstook biomassa

Aangezien bijstook van biomassa in een steenkoolcentrale goedkoper is dan steenkool kan verwacht worden dat door de mogelijkheid tot bijstook het verschil in marginale kosten met een gascentrale verder zal toenemen. Marginale kosten van beide gevallen gelijkstellen ($MC_{c+b} = MC_g$) geeft een gasprijs van € 2,59/GJ. De gasprijs moet bijgevolg 29 % meer dalen ten opzichte van een steenkoolcentrale zonder bijstook vooraleer een gascentrale op het zelfde niveau in de stapeling komt te zitten als een steenkoolcentrale met bijstook. Bij de in 2008 geldende brandstofprijzen is de marginale kost voor elektriciteitsproductie in een steenkoolcentrale met 10 % bijstook en een STEG respectievelijk gelijk aan € 27,4/MWh en € 49,6/MWh. Het verschil in marginale kosten tussen een steenkoolcentrale en een STEG neemt dus met 34 % toe in het geval van 10 % bijstook ten opzichte van het geval zonder bijstook. Bijstook van houtafval kan bijgevolg aanleiding geven tot een verschuiving van elektriciteitsproductie van STEG naar steenkoolcentrales, hoewel een volledige verschuiving (omwille van de wens voor diversiteit) niet realistisch is. De mogelijke impact op de CO₂-emissies van elektriciteitsproductie wordt verder besproken.

Gascentrale met bijstook biomassa versus steenkoolcentrale

Commerciële toepassing van een gascentrale met bijstook van biomassa is eerder iets voor de nabije toekomst. Marginale kosten van beide gevallen gelijkstellen ($MC_{g+b} = MC_c$), geeft een gasprijs van € 5,09/GJ of € 0,16/m³ met 0,03165 GJ/m³. Dit komt aardig in de buurt van de gemiddelde gasprijs in 2008 van € 5,7/GJ (Tabel 1). Bij een percentage bijstook van 20 % (i.p.v. 10 %) moet de gasprijs boven € 7/GJ stijgen vooraleer gascentrales met bijstook duurder worden dan zuivere steenkoolcentrales. De marginale kost bedraagt in dat geval € 24,8/MWh.

Impact bijstook biomassa op CO₂-emissies ten gevolge van steenkoolcentrales en STEG's

Het feit dat het verschil in marginale kosten van elektriciteitsproductie tussen een steenkoolcentrale en een STEG toeneemt met 34 % bij 10 % bijstook ten opzichte

van het geval zonder bijstook (zie hoger) kan er op korte termijn voor zorgen dat het totaal aantal draaiuren van steenkoolcentrales niet constant zal blijven, maar juist zal toenemen ten koste van het aantal draaiuren van STEG-centrales. Hierdoor zal de werkelijke CO₂-reductie lager liggen dan de berekende CO₂-reductie met steenkool als referentiebrandstof. Op lange termijn kan de verlaagde marginale kost aanleiding geven tot uitbreiding van het aandeel van de elektriciteitsproductie op basis van steenkool, indien de lagere marginale kosten opwegen tegen de hogere investeringskosten, en bestaat zelfs de mogelijkheid dat de CO₂-reductie door bijstook wordt teniet gedaan.

In de veronderstelling dat de som van de elektriciteitsproductie van steenkoolcentrales en STEG's constant blijft, kan de verschuiving die nodig is om de CO₂-reductie door bijstook van biologisch afval teniet te doen op basis van volgende vergelijking berekend worden:

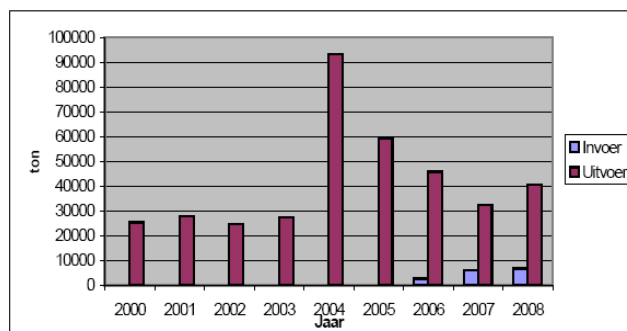
$$x \cdot EF_{\text{SKG}} + (1 - x) \cdot EF_{\text{STEG}} = y \cdot EF_{\text{SKG}+10\% \text{biost}} + (1 - y) \cdot EF_{\text{STEG}}$$

waarbij x het aandeel steenkoolcentrales in de elektriciteitsproductie op basis van STEG en steenkoolcentrales voorstelt voor het toepassen van bijstook en y het aandeel na het toepassen van 10 % bijstook. De emissiefactoren per GWh geproduceerde elektriciteit (EF) kunnen uit Tabel 27 gehaald worden. Op basis van die emissiefactoren moet het aandeel van steenkoolcentrales in de elektriciteitsproductie op basis van steenkoolcentrales en STEG's met 24 % stijgen om de CO₂-reductie door 10 % bijstook teniet te doen. In dit scenario wordt er van uit gegaan dat door een toenemende vraag naar elektriciteit nieuwe investeringen worden gedaan in steenkoolcentrales met bijstook of dat oude STEG centrales worden vervangen door nieuwe steenkoolcentrales met bijstook. Omwille van de wens voor diversiteit in brandstoffen, zullen STEGs en steenkoolcentrales altijd naast elkaar blijven bestaan. De verhouding tussen beiden kan wel wijzigen.

7.1.2. CO₂-emissies voor transport en voorbehandeling houtafval

Onderstaande grafiek geeft een overzicht van de hoeveelheden houtafval die met een goedgekeurde kennisgeving werden in- of uitgevoerd.

Figuur 24: Grensoverschrijdende overbrenging postconsumer houtafval voor energetische valorisatie (OVAM)



Vooraf Duitse en Zweedse energiecentrales ontvangen Vlaams houtafval, waaronder ook gevaarlijk houtafval. De uitvoer van houtafval voor energetische

valorisatie kent een dalende trend. Dit is voornamelijk te wijten aan een stijgende binnenlandse vraag naar houtafval voor energetische valorisatie vanuit de industrie. Vanaf 2006 is er zelfs invoer van postconsumer houtafval voor verbranding.

7.1.3. Gebruikte gegevens berekening onrendabele top

Algemene data komen uit Nederlandse OT-studie (Tilburg, 2007). Data specifiek voor Vlaanderen komen uit Vlaamse OT-studie (Moorkens, 2005)

Tabel 2: Algemene inputvariabelen berekening onrendabele top

INPUTVARIABLEN	Waarde	Eenheid	Commentaar
Aardgasprijs	0,18	Euro/m ³	
Energie-inhoud aardgas	0,03165	GJ/m ³	
Steenkoolprijs	60	Euro/ton	
Energie-inhoud steenkool	29,3	GJ/ton	
Minimumsteun warmtekrachtcertificaten (WKC)	0,027	Euro/kWh	0,027 €/kWh voor Vlaanderen. 0 €/kWh voor Nederland (geen WKC)
Minimum relatieve primaire energiebesparing (RPE)	10%		Bij RPE < 10 % geen WKC tenzij bij E < 1MWe moet RPE > 0 %
Minimum RPE voor E < 1 Mwe	0%		Bij RPE < 10 % geen WKC tenzij bij E < 1MWe moet RPE > 0 %
Maximum elektrisch vermogen voor minimum RPE	1000	kWe	
Referentierendementen voor bepalen kwaliteit WKK			Ministerieel besluit inzake de vastlegging van referentierendementen voor toepassing van de voorwaarden voor kwalitatieve warmtekrachtinstallaties
- Electriciteit op basis van biogas	42,0%		
- Electriciteit op basis van bio-brandstoffen	44,2%		
- Electriciteit op basis van hout of houtafval	33,0%		
- Electriciteit op basis van andere vaste biomassa	25,0%		
- Warm water op basis van biogas	70,0%		
- Warm water op basis van bio-brandstoffen	89,0%		
- Warm water basis van hout of houtafval	86,0%		
- Warm water op basis van andere vaste biomassa	80,0%		
Referentierendementen voor bepalen aantal WKC			Art. 10 van het Besluit van de Vlaamse Regering ter bevordering van de elektriciteitsopwekking in kwalitatieve warmtekrachtinstallaties
- Electriciteit op basis van biogas	42,0%		
- Electriciteit op basis van bio-brandstoffen	42,7%		
- Electriciteit op basis van hout of houtafval	34,0%		
- Electriciteit op basis van andere vaste biomassa	25,0%		
- Warm water op basis van biogas	70,0%		
Thermisch referentierendement fossiel	90,0%		Thermisch rendement voor bepalen aantal WKC zelfde als fossiel tenzij voor biogas Brandstofbesparing warmte WKK bepaald met aardgasketel (90 %) als referentie
Vlaamse situatie?	ja		Vul in: ja of nee (Nederlandse situatie)
Percentage investeringaftrek (IA)	13,5%		13,5 % voor Vlaanderen. 44 % voor Nederland
Maximale IA	200.000.000	Euro	Geen plafond voor Vlaanderen (neem 200 M€). 48,4 M€ voor Nederland
Steunpercentage ecologiepremie (EP)	10,0%		10 % voor grote ondernemingen. 20 % voor KMO's. 0 % voor Nederland
Maximale EP	1.500.000	Euro	1,5 M€ voor Vlaanderen. Geen ecologiepremie in Nederland
Vennootschapsbelasting	34%		25,5 % in Nederland. 34 % in Vlaanderen

Tabel 3: Inputvariabelen wind onshore < 0,5 MW (W1)

INPUTVARIABLEN	Waarde	Eenheid	Commentaar
Unit grootte		500 kWe	
Unit grootte elektriciteitsdeel		500 kWe	
Bedrijfstijd/vollasturen	1580	Uren/jaar	1580 uren/jaar in Vlaanderen en 2200 uren/jaar in Nederland
Economische levensduur	15	Jaar	
Elektrisch rendement	0%		
Thermisch rendement WKK	0%		
Referentierendement WKK	0%		
Besparing op BSB voor WKK	0,0000	Euro/m3	
Investeringskosten	1100	Euro/kWe	
Onderhoudskosten vast	39	Euro/kWe	
Onderhoudskosten variabel	0	Euro/kWe	
Overige operationele kosten	0	Euro/kWe	
Energie inhoud secundaire brandstof	0	GJ/ton	
Kosten secundaire brandstof	0	Euro/ton	
Brandstofkosten te vervangen brandstof	0,00	Euro/ton of Euro/m3	
Effectiviteit brandstofsubstitutie	0%		
E-inhoud te vervangen brandstof	0	GJ/ton of GJ/m3	
Marktprijs stroom	0	Euro/kWh	stroomprijs meegerekend via jaarlijkse correctie op basisbedrag
Kosten van onbalans	0	Euro/kWh	onbalans meegerekend via jaarlijkse correctie op basisbedrag
IA van toepassing?	ja		Vul in: ja of nee
IA	13,5%		Maximaal deel van de investering in aanmerking voor IA
IA max	200.000.000	Euro	Er is geen maximale investeringsaf trek in Vlaanderen
Gedeelte van de investering in aanmerking IA	85,8%		85,8 % in Vlaanderen en 85 % in Nederland
Steunpercentage ecologiepremie (EP)	10,0%		10 % voor grote ondernemingen. 20 % voor KMO's. 0 % in Nederland
Percentage meerkost in aanmerking voor EP	30,0%		Technologie nr. LTL: 3
Milieuperformantie-indicator	0,69		
EP max	1.500.000		Maximale ecologiepremie
Rente lening	5%		
Vereiste return on equity	15%		
Equity share in investering incl. IA effect	20%		20 % (VL). 10 % (NL)
Debt share in investering incl. IA effect	80%		
vennootschapsbelasting	34%		
Termijn lening	10	Jaar	10 jaar (VL). 15 jaar (NL)
Afschrijvingstermijn	10	Jaar	10 jaar (VL). 15 jaar (NL)
Beleidsperiode (subsidieduur)	10	Jaar	10 jaar (VL). 15 jaar (NL)

Tabel 4: Inputvariabelen wind onshore > 0,5 MW en < 1,5 MW (W2)

INPUTVARIABLEN	Waarde	Eenheid	Commentaar
Unit grootte	1000	kWe	
Unit grootte elektriciteitsdeel	1000	kWe	
Bedrijfstijd/vollasturen	1580	Uren/jaar	1580 uren/jaar in Vlaanderen en 2200 uren/jaar in Nederland
Economische levensduur	15	Jaar	
Elektrisch rendement	0%		
Thermisch rendement WKK	0%		
Referentierendement WKK	0%		
Besparing op BSB voor WKK	0,0000	Euro/m3	
Investeringskosten	1100	Euro/kWe	
Onderhoudskosten vast	39	Euro/kWe	
Onderhoudskosten variabel	0	Euro/kWhe	
Overige operationele kosten	0	Euro/kWhe	
Energie inhoud secundaire brandstof	0	GJ/ton	
Kosten secundaire brandstof	0	Euro/ton	
Brandstofkosten te vervangen brandstof	0,00	Euro/ton of Euro/m3	
Effectiviteit brandstofs substitutie	0%		
E-inhoud te vervangen brandstof	0	GJ/ton of GJ/m3	
Marktprijs stroom	0	Euro/kWh	stroomprijs meegerekend via jaarlijkse correctie op basisbedrag
Kosten van onbalans	0	Euro/kWh	onbalans meegerekend via jaarlijkse correctie op basisbedrag
IA van toepassing?	ja		Vul in: ja of nee
IA	13,5%		Maximaal deel van de investering in aanmerking voor IA
IA max	200.000.000	Euro	Er is geen maximale investeringsaftrek in Vlaanderen
Gedeelte van de investering in aanmerking IA	85,8%		85,8 % in Vlaanderen en 85 % in Nederland
Steunpercentage ecologiepremie (EP)	10,0%		10 % voor grote ondernemingen. 20 % voor KMO's. 0 % in Nederland
Percentage meerkost in aanmerking voor EP	20,0%		Technologie nr. LTL: 1160
Milieuperformantie-indicator	0,69		
EP max	1.500.000		Maximale ecologiepremie
Rente lening	5%		
Vereiste return on equity	15%		
Equity share in investering incl. IA effect	20%		20 % (VL). 10 % (NL)
Debt share in investering incl. IA effect	80%		
vennootschapsbelasting	34%		
Termijn lening	10	Jaar	10 jaar (VL). 15 jaar (NL)
Afschrijvingstermijn	10	Jaar	10 jaar (VL). 15 jaar (NL)
Beleidsperiode (subsidieduur)	10	Jaar	10 jaar (VL). 15 jaar (NL)

Tabel 5: Inputvariabelen wind onshore > 1,5 MW (W3)

INPUTVARIABLEN	Waarde	Eenheid	Commentaar
Unit grootte		5000 kWe	
Unit grootte elektriciteitsdeel		5000 kWe	
Bedrijfstijd/vollasturen		1580 Uren/jaar	1580 uren/jaar in Vlaanderen en 2200 uren/jaar in Nederland
Economische levensduur		15 Jaar	
Elektrisch rendement		0%	
Thermisch rendement WKK		0%	
Referentierendement WKK		0%	
Besparing op BSB voor WKK		0,0000 Euro/m3	
Investeringskosten		1100 Euro/kWe	
Onderhoudskosten vast		39 Euro/kWe	
Onderhoudskosten variabel		0 Euro/kWhe	
Overige operationele kosten		0 Euro/kWhe	
Energie inhoud secundaire brandstof		0 GJ/ton	
Kosten secundaire brandstof		0 Euro/ton	
Brandstofkosten te vervangen brandstof		0,00 Euro/ton of Euro/m3	
Effectiviteit brandstofsubstitutie		0%	
E-inhoud te vervangen brandstof		0 GJ/ton of GJ/m3	
Marktprijs stroom		0 Euro/kWh	stroomprijs meegerekend via jaarlijkse correctie op basisbedrag
Kosten van onbalans		0 Euro/kWh	onbalans meegerekend via jaarlijkse correctie op basisbedrag
IA van toepassing?		ja	Vul in: ja of nee
IA		13,5%	Maximaal deel van de investering in aanmerking voor IA
IA max		200.000.000 Euro	Er is geen maximale investeringsaftrek in Vlaanderen
Gedeelte van de investering in aanmerking IA		85,8%	85,8 % in Vlaanderen en 85 % in Nederland
Steunpercentage ecologiepremie (EP)		10,0%	10 % voor grote ondernemingen. 20 % voor KMO's. 0 % in Nederland
Percentage meerkost in aanmerking voor EP		10,0%	Technologie nr. LTL: 1161
Milieuperformantie-indicator		0,69	
EP max		1.500.000	Maximale ecologiepremie
Rente lening		5%	
Vereiste return on equity		15%	
Equity share in investering incl. IA effect		20%	20 % (VL). 10 % (NL)
Debt share in investering incl. IA effect		80%	
vennootschapsbelasting		34%	
Termijn lening		10 Jaar	10 jaar (VL). 15 jaar (NL)
Afschrijvingstermijn		10 Jaar	10 jaar (VL). 15 jaar (NL)
Beleidsperiode (subsidieduur)		10 Jaar	10 jaar (VL). 15 jaar (NL)

Tabel 6: Inputvariabelen wind offshore (W4)

INPUTVARIABLEN	Waarde	Eenheid	Commentaar
Unit grootte	5000	kWe	
Unit grootte elektriciteitsdeel	5000	kWe	
Bedrijfstijd/vollasturen	3100	Uren/jaar	3100 uren/jaar (VL). 3350 uren/jaar (NL 20 km)
Economische levensduur	20	Jaar	20 jaar (VL). 15 jaar (NL)
Elektrisch rendement	0%		
Thermisch rendement WKK	0%		
Referentierendement WKK	0%		
Besparing op BSB voor WKK	0,0000	Euro/m3	
Investeringskosten	1815	Euro/kWe	1815 €/kWe (VL). 2200 €/kWe (NL 20 km)
Onderhoudskosten vast	0	Euro/kWe	0 €/kWe (VL). 60 €/kWe (NL 20 km)
Onderhoudskosten variabel	0,027	Euro/kWhe	0,027 €/kWe (VL). 0 €/kWe (NL 20 km)
Overige operationele kosten	0	Euro/kWhe	
Energie inhoud secundaire brandstof	0	GJ/ton	
Kosten secundaire brandstof	0	Euro/ton	
Brandstofkosten te vervangen brandstof	0,00	Euro/ton of Euro/m3	
Effectiviteit brandstofsubstitutie	0%		
E-inhoud te vervangen brandstof	0	GJ/ton of GJ/m3	
Marktprijs stroom	0	Euro/kWh	stroomprijs meegerekend via jaarlijkse correctie op basisbedrag
Kosten van onbalans	0	Euro/kWh	onbalans meegerekend via jaarlijkse correctie op basisbedrag
IA van toepassing?	ja		Vul in: ja of nee
IA	13,5%		Maximaal deel van de investering in aanmerking voor IA
IA max	200.000.000	Euro	Er is geen maximale investeringsaftrek in Vlaanderen
Gedeelte van de investering in aanmerking IA	72,0%		
Steunpercentage ecologiepremie (EP)	0,0%		Offshore windenergie komt niet in aanmerking voor ecologiesteun
Percentage meerkost in aanmerking voor EP	0,0%		
Milieuperformantie-indicator	1,00		
EP max	1.500.000		Maximale ecologiepremie
Rente lening	9%		
Vereiste return on equity	15%		
Equity share in investering incl. IA effect	0%		0 % (VL). 50 % (NL)
Debt share in investering incl. IA effect	100%		
vennootschapsbelasting	34%		
Termijn lening	12	Jaar	12 jaar (VL). 15 jaar (NL)
Afschrijvingstermijn	10	Jaar	10 jaar (VL). 15 jaar (NL)
Beleidsperiode (subsidieduur)	10	Jaar	10 jaar (VL). 15 jaar (NL)

Tabel 7: Inputvariabelen kleinschalige waterkracht (H)

INPUTVARIABLEN	Waarde	Eenheid	Commentaar
Unit grootte	1100	kWe	
Unit grootte elektriciteitsdeel	1100	kWe	
Bedrijfstijd/vollasturen	2950	Uren/jaar	
Economische levensduur	10	Jaar	10 jaar (VL). 15 jaar (NL)
Elektrisch rendement	0%		
Thermisch rendement WKK	0%		
Thermisch referentierendement WKK	0,0%		
Elektrisch referentierendement WKK	0,0%		
Relatieve primaire energiebesparing (RPE)	0,0%		
Besparing op BSB voor WKK	0,0000	Euro/m3	
Investeringskosten	3560	Euro/kWe	
Onderhoudskosten vast	0	Euro/kWe	
Onderhoudskosten variabel	0,011	Euro/kWhe	
Overige operationele kosten	0	Euro/kWhe	
Energie inhoud secundaire brandstof	0	GJ/ton	
Kosten secundaire brandstof	0	Euro/ton	
Brandstofkosten te vervangen brandstof	0,00	Euro/ton of Euro/m3	
Effectiviteit brandstofsubstitutie	0%		
E-inhoud te vervangen brandstof	0	GJ/ton of GJ/m3	
Marktprijs stroom	0,000	Euro/kWh	stroomprijs meegerekend via jaarlijkse correctie op basisbedrag
Kosten van onbalans	0	Euro/kWh	
Minimumsteun warmtekrachtcertificaten	0,135	Euro/kWh	
IA van toepassing?	nee		Vul in: ja of nee
IA	13,5%		Maximaal deel van de investering in aanmerking voor IA
IA max	200.000.000	Euro	Er is geen maximale investeringsaftek in Vlaanderen
Gedeelte van de investering in aanmerking IA	100%		
Steunpercentage ecologiepremie (EP)	10,0%		10 % voor grote ondernemingen. 20 % voor KMO's
Percentage meerkost in aanmerking voor EP	70,0%		
Milieuperformantie-indicator	0,69		
EP max	1.500.000	Euro	Maximale ecologiepremie
Rente lening	5%		
Vereiste return on equity	15%		
Equity share in investering incl. IA effect	20%		
Debt share in investering incl. IA effect	80%		
vennootschapsbelasting	34%		
Termijn lening	10	Jaar	10 jaar (VL). 15 jaar (NL)
Afschrijvingstermijn	10	Jaar	10 jaar (VL). 15 jaar (NL)
Beleidsperiode (subsidieduur)	10	Jaar	10 jaar (VL). 15 jaar (NL)

Tabel 8: Inputvariabelen biobrandstoffen in gascentrale (BC1)

INPUTVARIABLEN	Waarde	Eenheid	Commentaar
Unit grootte	200000	kWth	
Unit grootte elektriciteitsdeel	73400	kWe	
Bedrijfstijd/vollasturen	1800	Uren/jaar	
Economische levensduur	10	Jaar	10 jaar (VL). 4 jaar (NL)
Elektrisch rendement	36,7%		
Thermisch rendement WKK	0%		
Thermisch referentierendement bepaling kwaliteit WKK	89,0%		Brandstoftype: biobrandstoffen
Elektrisch referentierendement bepaling kwaliteit WKK	44,2%		Brandstoftype: biobrandstoffen
Relatieve primaire energiebesparing (RPE) kwaliteit WKK	-20,4%		Bij RPE < 10 % geen WKC tenzij bij E < 1MWe moet RPE > 0 %
Thermisch referentierendement bepaling aantal WKC	90,0%		Zelfde als fossiel tenzij voor biogas: 70 %
Elektrisch referentierendement bepaling aantal WKC	42,7%		Brandstoftype: bio-brandstoffen
Relatieve primaire energiebesparing (RPE) aantal WKC	-16,3%		
Investeringskosten	5	Euro/kWth	
Onderhoudskosten vast	0	Euro/kWth	
Onderhoudskosten variabel	0,0005	Euro/kWhe	
Overige operationele kosten	0,002	Euro/kWhe	
Kosten secundaire brandstof (biomassa)	500	Euro/ton	
Energie-inhoud secundaire brandstof (biomassa)	36,7	GJ/ton	
Kosten primaire brandstof elektriciteit	0,1800	Euro/ton of Euro/m3	
Energie-inhoud primaire brandstof elektriciteit	0,03165	GJ/m ³	
Effectiviteit brandstofsubstitutie elektriciteit	90,4%		
Kosten primaire brandstof verwarming (aardgas)	0,1800	Euro/m ³	
E-inhoud primaire brandstof verwarming (aardgas)	0,03165	GJ/m ³	
Thermisch referentierendement (aardgasketel)	90,0%		
Marktprijs stroom	0,000	Euro/kWh	stroomprijs meegerekend via jaarlijkse correctie op basisbedrag
Kosten van onbalans	0	Euro/kWh	
Minimumsteun warmtekrachtcertificaten	0,027	Euro/kWh	
IA van toepassing?	ja		Vul in: ja of nee
IA	13,5%		Maximaal deel van de investering in aanmerking voor IA
IA max	200.000.000	Euro	Er is geen maximale investeringsaftrek in Vlaanderen
Gedeelte van de investering in aanmerking IA	100%		
Steunpercentage ecologiepremie (EP)	10,0%		
Percentage meerkost in aanmerking voor EP	50,0%		Technologie nr. LTL: 1345
Milieuperformantie-indicator	0,46		
EP max	1.500.000		Maximale ecologiepremie
Rente lening	5%		5 % (VL). 6 % (NL)
Vereiste return on equity	12%		
Equity share in investering incl. IA effect	33%		
Debt share in investering incl. IA effect	67%		
vennootschapsbelasting	34%		
Termijn lening	10	Jaar	10 jaar (VL). 4 jaar (NL)
Afschrijvingstermijn	10	Jaar	10 jaar (VL). 4 jaar (NL)
Beleidsperiode (subsidieduur)	10	Jaar	10 jaar (VL). 4 jaar (NL)

Tabel 9: Inputvariabelen bijstook afvalhout/houtstof/houtpellets/olijfpitten/agroresidu in kolencentrale (BC2)

INPUTVARIABLEN	Waarde	Eenheid	Commentaar
Unit grootte	200000	kWth	
Unit grootte elektriciteitsdeel	74000	kWe	
Bedrijfstijd/vollasturen	7250	Uren/jaar	
Economische levensduur	10	Jaar	10 jaar (VL). 4 jaar (NL)
Elektrisch rendement	37,0%		Rendement oude steenkoolcentrale 37 %, rendement nieuwe steenkoolcentrale 44 %
Thermisch rendement WKK	0%		
Thermisch referentierendement bepaling kwaliteit WKK	86,0%		Brandstoftype: houtbrandstoffen en houtafval
Elektrisch referentierendement bepaling kwaliteit WKK	33,0%		Brandstoftype: houtbrandstoffen en houtafval
Relatieve primaire energiebesparing (RPE) kwaliteit WKK	10,8%		Bij RPE < 10 % geen WKC tenzij bij E < 1MWt moet RPE > 0 %
Thermisch referentierendement bepaling aantal WKC	90,0%		Zelfde als fossiel tenzij voor biogas: 70 %
Elektrisch referentierendement bepaling aantal WKC	34,0%		Brandstoftype: hout en houtafval
Relatieve primaire energiebesparing (RPE) aantal WKC	8,1%		
Investeringskosten	17,5	Euro/kWth	17,5 €/kWth houtstof, olijfpitten (directe bijstook). 220 €/kWth voor andere (indirecte bijstook)
Onderhoudskosten vast	0	Euro/kWth	
Onderhoudskosten variabel	0,004	Euro/kWhe	0,004 €/kWhe voor agroresidu en afvalhout. 0,002 €/kWhe voor andere
Overige operationele kosten	0,008	Euro/kWhe	
Kosten secundaire brandstof (biomassa)	21	Euro/ton	Prijs houtstof 55 €/ton, olijfpitten 65 €/ton, houtafval 21 €/ton, agroresidu 50 €/ton, houtpellets 115 €/ton
Energie-inhoud secundaire brandstof (biomassa)	14	GJ/ton	17,5 GJ/ton voor houtpellets. 14 GJ/ton voor andere
Kosten primaire brandstof elektriciteit	60,00	Euro/ton of Euro/m3	Prijs steenkool 60 €/ton, voor nieuwe steenkoolcentrales geen vermeden brandstofkosten (0 €/ton)
Energie-inhoud primaire brandstof elektriciteit	29,30	GJ/ton	
Effectiviteit brandstofsubstitutie elektriciteit	93,3%		
Kosten primaire brandstof verwarming (aardgas)	0,1800	Euro/m3	
E-inhoud vermeden brandstof verwarming (aardgas)	0,03165	GJ/m3	
Thermisch referentierendement (aardgasketel)	90,0%		
Marktprijs stroom	0,000	Euro/kWh	stroomprijs meegerekend via jaarlijkse correctie op basisbedrag
Kosten van onbalans	0	Euro/kWh	
Minimumsteun warmtekrachtcertificaten	0,027	Euro/kWh	
IA van toepassing?	ja		Vul in: ja of nee
IA	13,5%		Maximaal deel van de investering in aanmerking voor IA
IA max	200.000.000	Euro	Er is geen maximale investeringsaftrek in Vlaanderen
Gedeelte van de investering in aanmerking IA	100%		
Steunpercentage ecologiepremie (EP)	10,0%		
Percentage meerkost in aanmerking voor EP	50,0%		Technologie nr. LTL: 1162
Milieuperformantie-indicator	0,46		
EP max	1.500.000		Maximale ecologiepremie
Rente lening	5%		5 % (VL). 6 % (NL)
Vereiste return on equity	12%		
Equity share in investering incl. IA effect	33%		
Debt share in investering incl. IA effect	67%		
vennootschapsbelasting	34%		
Termijn lening	10	Jaar	10 jaar (VL). 4 jaar (NL)
Afschrijvingstermijn	10	Jaar	10 jaar (VL). 4 jaar (NL)
Beleidsperiode (subsidieduur)	10	Jaar	10 jaar (VL). 4 jaar (NL)

Tabel 10: Inputvariabelen vergassing en bijstook afvalhout/houtstof/houtpellets/olijfpitten/agroresidu in kolencentrale (BC3)

INPUTVARIABLEN	Waarde	Eenheid	Commentaar
Unit grootte	200000	kWth	
Unit grootte elektriciteitsdeel	74000	kWe	
Bedrijfstijd/vollasturen	6600	Uren/jaar	
Economische levensduur	10	Jaar	10 jaar (VL). 4 jaar (NL)
Elektrisch rendement	37,0%		Rendement oude steenkoolcentrale 37 %, rendement nieuwe steenkoolcentrale 44 %
Thermisch rendement WKK	0%		
Thermisch referentierendement bepaling kwaliteit WKK	86,0%		Brandstoftype: houtbrandstoffen en houtafval
Elektrisch referentierendement bepaling kwaliteit WKK	33,0%		Brandstoftype: houtbrandstoffen en houtafval
Relatieve primaire energiebesparing (RPE) kwaliteit WKK	10,8%		Bij RPE < 10 % geen WKC tenzij bij E < 1MWe moet RPE > 0 %
Thermisch referentierendement bepaling aantal WKC	90,0%		Zelfde als fossiel tenzij voor biogas: 70 %
Elektrisch referentierendement bepaling aantal WKC	34,0%		Brandstoftype: hout en houtafval
Relatieve primaire energiebesparing (RPE) aantal WKC	8,1%		
Investeringskosten	310	Euro/kWth	
Onderhoudskosten vast	0	Euro/kWth	
Onderhoudskosten variabel	0,007	Euro/kWhe	
Overige operationele kosten	0,013	Euro/kWhe	
Kosten secundaire brandstof (biomassa)	60	Euro/ton	Prijs houtstof 55 €/ton, olijfpitten 65 €/ton, houtafval 21 €/ton, agroresidu 50 €/ton, houtpellets 115 €/ton
Energie-inhoud secundaire brandstof (biomassa)	14	GJ/ton	17,5 GJ/ton voor houtpellets. 14 GJ/ton voor andere
Kosten primaire brandstof elektriciteit	60,00	Euro/ton of Euro/m3	Prijs steenkool 60 €/ton, voor nieuwe steenkoolcentrales geen vermeden brandstofkosten (0 €/ton)
Energie-inhoud primaire brandstof elektriciteit	29,30	GJ/ton	
Effectiviteit brandstofsubstitutie elektriciteit	93,3%		
Kosten primaire brandstof verwarming (aardgas)	0,1800	Euro/m3	
E-inhoud vermeden brandstof verwarming (aardgas)	0,03165	GJ/m3	
Thermisch referentierendement (aardgasketel)	90,0%		
Marktprijs stroom	0,000	Euro/kWh	stroomprijs meegerekend via jaarlijkse correctie op basisbedrag
Kosten van onbalans	0	Euro/kWh	
Minimumsteun warmtekrachtcertificaten	0,027	Euro/kWh	
IA van toepassing?	ja		Vul in: ja of nee
IA	13,5%		Maximaal deel van de investering in aanmerking voor IA
IA max	200.000.000	Euro	Er is geen maximale investeringsaf trek in Vlaanderen
Gedeelte van de investering in aanmerking IA	100%		
Steunpercentage ecologiepremie (EP)	10,0%		
Percentage meerkost in aanmerking voor EP	50,0%		Technologie nr. LTL: 1164
Milieuperformantie-indicator	0,46		
EP max	1.500.000		Maximale ecologiepremie
Rente lening	5%		5 % (VL). 6 % (NL)
Vereiste return on equity	12%		
Equity share in investering incl. IA effect	33%		
Debt share in investering incl. IA effect	67%		
vennootschapsbelasting	34%		
Termijn lening	10	Jaar	10 jaar (VL). 4 jaar (NL)
Afschrijvingstermijn	10	Jaar	10 jaar (VL). 4 jaar (NL)
Beleidsperiode (subsidieduur)	10	Jaar	10 jaar (VL). 4 jaar (NL)

Tabel 11: Inputvariabelen WKK op biobrandstoffen < 10 MWe (BD1)

INPUTVARIABLEN	Waarde	Eenheid	Commentaar
Unit grootte	5000	kWe	
Unit grootte elektriciteitsdeel	5000	kWe	
Bedrijfstijd/vollasturen	7500	Uren/jaar	
Economische levensduur	10	Jaar	10 jaar (VL). 12 jaar (NL)
Elektrisch rendement	42%		
Thermisch rendement WKK	30%		
Thermisch referentierendement bepaling kwaliteit WKK	89,0%		Brandstoftype: biobrandstoffen
Elektrisch referentierendement bepaling kwaliteit WKK	44,2%		Brandstoftype: biobrandstoffen
Relatieve primaire energiebesparing (RPE) kwaliteit WKK	22,3%		Bij RPE < 10 % geen WKC tenzij bij E < 1MWe moet RPE > 0 %
Thermisch referentierendement bepaling aantal WKC	90,0%		Zelfde als fossiel tenzij voor biogas: 70 %
Elektrisch referentierendement bepaling aantal WKC	42,7%		Brandstoftype: bio-brandstoffen
Relatieve primaire energiebesparing (RPE) aantal WKC	24,1%		
Investeringskosten	1250	Euro/kWe	
Onderhoudskosten vast	150	Euro/kWe	
Onderhoudskosten variabel	0	Euro/kWhe	
Overige operationele kosten	0	Euro/kWhe	
Kosten secundaire brandstof (biomassa)	600	Euro/ton	
Energie-inhoud secundaire brandstof (biomassa)	36,7	GJ/ton	
Kosten primaire brandstof elektriciteit	0,00	Euro/ton of Euro/m3	
Energie-inhoud primaire brandstof elektriciteit	0,00	GJ/ton	
Effectiviteit brandstofsubstitutie elektriciteit	0%		
Kosten primaire brandstof verwarming (aardgas)	0,1800	Euro/m ³	
E-inhoud primaire brandstof verwarming (aardgas)	0,03165	GJ/m ³	
Thermisch referentierendement (aardgasketel)	90,0%		
Marktprijs stroom	0,000	Euro/kWh	stroomprijs meegerekend via jaarlijkse correctie op basisbedrag
Kosten van onbalans	0	Euro/kWh	
Minimumsteun warmtekrachtcertificaten	0,027	Euro/kWh	
IA van toepassing?	ja		Vul in: ja of nee
IA	13,5%		Maximaal deel van de investering in aanmerking voor IA
IA max	200.000.000	Euro	Er is geen maximale investeringsaf trek in Vlaanderen
Gedeelte van de investering in aanmerking IA	100%		
Steunpercentage ecologiepremie (EP)	10,0%		
Percentage meerkost in aanmerking voor EP	50,0%		Technologie nr. LTL: 1345
Milieuperformantie-indicator	0,46		
EP max	1.500.000		Maximale ecologiepremie
Rente lening	5%		
Vereiste return on equity	15%		
Equity share in investering incl. IA effect	20%		
Debt share in investering incl. IA effect	80%		
vennootschapsbelasting	34%		
Termijn lening	10	Jaar	10 jaar (VL). 12 jaar (NL)
Afschrijvingstermijn	10	Jaar	10 jaar (VL). 12 jaar (NL)
Beleidsperiode (subsidieduur)	10	Jaar	10 jaar (VL). 12 jaar (NL)

De bedrijfstijd van de WKK is hoog, wat betekent dat die eenheid gekoppeld is aan een bijna continue warmtevraag.

Tabel 12: Inputvariabelen WKK op biobrandstoffen > 10 MWe en < 50 MWe (BD2)

INPUTVARIABLEN	Waarde	Eenheid	Commentaar
Unit grootte	25000	kWe	
Unit grootte elektriciteitsdeel	25000	kWe	
Bedrijfstijd/vollasturen	7500	Uren/jaar	
Economische levensduur	10	Jaar	10 jaar (VL), 15 jaar (NL)
Elektrisch rendement	48%		
Thermisch rendement WKK	10%		
Thermisch referentierendement bepaling kwaliteit WKK	89,0%		Brandstoftype: biobrandstoffen
Elektrisch referentierendement bepaling kwaliteit WKK	44,2%		Brandstoftype: biobrandstoffen
Relatieve primaire energiebesparing (RPE) kwaliteit WKK	16,6%		Bij RPE < 10 % geen WKC tenzij bij E < 1MWe moet RPE > 0 %
Thermisch referentierendement bepaling aantal WKC	90,0%		Zelfde als fossiel tenzij voor biogas: 70 %
Elektrisch referentierendement bepaling aantal WKC	42,7%		Brandstoftype: bio-brandstoffen
Relatieve primaire energiebesparing (RPE) aantal WKC	19,0%		
Investeringskosten	1100	Euro/kWe	
Onderhoudskosten vast	100	Euro/kWe	
Onderhoudskosten variabel	0	Euro/kWhe	
Overige operationele kosten	0	Euro/kWhe	
Kosten secundaire brandstof (biomassa)	600	Euro/ton	
Energie-inhoud secundaire brandstof (biomassa)	36,7	GJ/ton	
Kosten primaire brandstof elektriciteit	0,00	Euro/ton of Euro/m3	
Energie-inhoud primaire brandstof elektriciteit	0,00	GJ/ton	
Effectiviteit brandstofsubstitutie elektriciteit	0%		
Kosten primaire brandstof verwarming (aardgas)	0,1800	Euro/m3	
E-inhoud vermeden brandstof verwarming (aardgas)	0,03165	GJ/m3	
Thermisch referentierendement (aardgasketel)	90,0%		
Marktprijs stroom	0,000	Euro/kWh	stroomprijs meegerekend via jaarlijkse correctie op basisbedrag
Kosten van onbalans	0	Euro/kWh	
Minimumsteun warmtekrachtcertificaten	0,027	Euro/kWh	
IA van toepassing?	ja		Vul in: ja of nee
IA	13,5%		Maximaal deel van de investering in aanmerking voor IA
IA max	200.000.000	Euro	Er is geen maximale investeringsaftrek in Vlaanderen
Gedeelte van de investering in aanmerking IA	100%		
Steunpercentage ecologiepremie (EP)	10,0%		
Percentage meerkost in aanmerking voor EP	50,0%		Technologie nr. LTL: 1345
Milieuperformantie-indicator	0,46		
EP max	1.500.000		Maximale ecologiepremie
Rente lening	5%		
Vereiste return on equity	15%		
Equity share in investering incl. IA effect	20%		
Debt share in investering incl. IA effect	80%		
vennootschapsbelasting	34%		
Termijn lening	10	Jaar	10 jaar (VL), 12 jaar (NL)
Afschrijvingstermijn	10	Jaar	10 jaar (VL), 12 jaar (NL)
Beleidsperiode (subsidieduur)	10	Jaar	10 jaar (VL), 12 jaar (NL)

Tabel 13: Inputvariabelen WKK op houtstof/olijfpitten/houtpellets < 10 MWe (BD3)

INPUTVARIABLEN	Waarde	Eenheid	Commentaar
Unit grootte	5000	kWe	
Unit grootte elektriciteitsdeel	5000	kWe	
Bedrijfstijd/vollasturen	7500	Uren/jaar	
Economische levensduur	10	Jaar	10 jaar (VL). 12 jaar (NL)
Elektrisch rendement	25%		
Thermisch rendement WKK	50%		
Thermisch referentierendement bepaling kwaliteit WKK	86,0%		Brandstoftype: houtbrandstoffen en houtafval
Elektrisch referentierendement bepaling kwaliteit WKK	33,0%		Brandstoftype: houtbrandstoffen en houtafval
Relatieve primaire energiebesparing (RPE) kwaliteit WKK	25,3%		Bij RPE < 10 % geen WKC tenzij bij E < 1MWe moet RPE > 0 %
Thermisch referentierendement bepaling aantal WKC	90,0%		Zelfde als fossiel tenzij voor biogas: 70 %
Elektrisch referentierendement bepaling aantal WKC	34,0%		Brandstoftype: hout en houtafval
Relatieve primaire energiebesparing (RPE) aantal WKC	22,5%		
Investeringskosten	4000	Euro/kWe	
Onderhoudskosten vast	225	Euro/kWe	
Onderhoudskosten variabel	0	Euro/kWhe	
Overige operationele kosten	0	Euro/kWhe	
Kosten secundaire brandstof (biomassa)	115	Euro/ton	Prijs houtstof 55 €/ton. Prijs olijfpitten 65 €/ton. Prijs houtpellets 115 €/ton
Energie-inhoud secundaire brandstof (biomassa)	17,5	GJ/ton	17,5 GJ/ton voor houtpellets. 14 GJ/ton voor andere
Kosten primaire brandstof elektriciteit	0,00	Euro/ton of Euro/m3	
Energie-inhoud primaire brandstof elektriciteit	0,00	GJ/ton	
Effectiviteit brandstofsubstitutie elektriciteit	0%		
Kosten primaire brandstof verwarming (aardgas)	0,1800	Euro/m3	
E-inhoud vermeden brandstof verwarming (aardgas)	0,03165	GJ/m3	
Thermisch referentierendement (aardgasketel)	90,0%		
Marktprijs stroom	0,000	Euro/kWh	stroomprijs meegerekend via jaarlijkse correctie op basisbedrag
Kosten van onbalans	0	Euro/kWh	
Minimumsteun warmtekrachtcertificaten	0,027	Euro/kWh	
IA van toepassing?	ja		Vul in: ja of nee
IA	13,5%		Maximaal deel van de investering in aanmerking voor IA
IA max	200.000.000	Euro	Er is geen maximale investeringsafrek in Vlaanderen
Gedeelte van de investering in aanmerking IA	100%		
Steunpercentage ecologiepremie (EP)	10,0%		
Percentage meerkost in aanmerking voor EP	50,0%		Technologie nr. LTL: 1345
Milieuperformantie-indicator	0,46		
EP max	1.500.000		Maximale ecologiepremie
Rente lening	5%		
Vereiste return on equity	15%		
Equity share in investering incl. IA effect	20%		
Debt share in investering incl. IA effect	80%		
vennootschapsbelasting	34,0%		
Termijn lening	10	Jaar	10 jaar (VL). 12 jaar (NL)
Afschrijvingstermijn	10	Jaar	10 jaar (VL). 12 jaar (NL)
Beleidsperiode (subsidieduur)	10	Jaar	10 jaar (VL). 12 jaar (NL)

Tabel 14: Inputvariabelen WKK op afvalhout/houtstof/houtpellets/olijfpitten/agroresidu > 10 MWe en < 50 MWe (BD4)

INPUTVARIABLEN	Waarde	Eenheid	Commentaar
Unit grootte	25000	kWe	
Unit grootte elektriciteitsdeel	25000	kWe	
Bedrijfstijd/vollasturen	7500	Uren/jaar	
Economische levensduur	10	Jaar	10 jaar (VL). 15 jaar (NL)
Elektrisch rendement	30%		
Thermisch rendement WKK	0%		Schaalgrootte te groot om de warmte op een efficiënte manier af te zetten
Thermisch referentierendement bepaling kwaliteit WKK	86,0%		Brandstoftype: houtbrandstoffen en houtafval
Elektrisch referentierendement bepaling kwaliteit WKK	33,0%		Brandstoftype: houtbrandstoffen en houtafval
Relatieve primaire energiebesparing (RPE) kwaliteit WKK	-10,0%		Bij RPE < 10 % geen WKC tenzij bij E < 1MWe moet RPE > 0 %
Thermisch referentierendement bepaling aantal WKC	90,0%		Zelfde als fossiel tenzij voor biogas: 70 %
Elektrisch referentierendement bepaling aantal WKC	34,0%		Brandstoftype: hout en houtafval
Relatieve primaire energiebesparing (RPE) aantal WKC	-13,3%		
Investeringskosten	3100	Euro/kWe	
Onderhoudskosten vast	175	Euro/kWe	
Onderhoudskosten variabel	0	Euro/kWhe	
Overige operationele kosten	0	Euro/kWhe	
Kosten secundaire brandstof (biomassa)	115	Euro/ton	Prijs houtstof 55 €/ton, olijfpitten 65 €/ton, houtafval 21 €/ton, agroresidu 50 €/ton, houtpellets 115 €/ton
Energie-inhoud secundaire brandstof (biomassa)	17,5	GJ/ton	17,5 GJ/ton voor houtpellets. 14 GJ/ton andere organische brandstoffen
Kosten primaire brandstof elektriciteit	0,00	Euro/ton of Euro/m3	
Energie-inhoud primaire brandstof elektriciteit	0,00	GJ/ton	
Effectiviteit brandstofs substitutie elektriciteit	0%		
Kosten primaire brandstof verwarming (aardgas)	0,1800	Euro/m3	
E-inhoud vermeden brandstof verwarming (aardgas)	0,03165	GJ/m3	
Thermisch referentierendement (aardgasketel)	90,0%		
Marktprijs stroom	0,000	Euro/kWh	stroomprijs meegerekend via jaarlijkse correctie op basisbedrag
Kosten van onbatans	0	Euro/kWh	
Minimumsteun warmtekrachtcertificaten	0,027	Euro/kWh	
IA van toepassing?	ja		Vul in: ja of nee
IA	13,5%		Maximaal deel van de investering in aanmerking voor IA
IA max	200.000.000	Euro	Er is geen maximale investeringsafrek in Vlaanderen
Gedeelte van de investering in aanmerking IA	100%		
Steunpercentage ecologiepremie (EP)	10,0%		
Percentage meerkost in aanmerking voor EP	50,0%		Technologie nr. LTL: 1345
Milieuperformantie-indicator	0,46		
EP max	1.500.000		Maximale ecologiepremie
Rente lening	5%		
Vereiste return on equity	15%		
Equity share in investering incl. IA effect	20%		
Debt share in investering incl. IA effect	80%		
vennootschapsbelasting	34%		
Termijn lening	10	Jaar	10 jaar (VL). 12 jaar (NL)
Afschrijvingstermijn	10	Jaar	10 jaar (VL). 12 jaar (NL)
Beleidsperiode (subsidieduur)	10	Jaar	10 jaar (VL). 12 jaar (NL)

Tabel 15: Inputvariabelen AVI = afvalverbrandingsinstallatie met standaard (S), opgewaarderd (U) en hoog rendement (H)*

INPUTVARIABLEN	Waarde	Eenheid	Commentaar
Unit grootte	50000	kWe	
Unit grootte elektriciteitsdeel	50000	kWe	
Bedrijfstijd/vollasturen	8080	Uren/jaar	Voor S ($\eta_{bruto}=23\%$) = 8080 uren/jaar, U ($\eta_{bruto}=28,5\%$) = 7800 uren/jaar en H ($\eta_{bruto}=31,5\%$) = 7500 uren/jaar *
Economische levensduur	20	Jaar	
Elektrisch rendement	31,5%		Gemiddeld rendement bij gecombineerde elektriciteit- en warmteproductie = 11 %. Gemiddeld enkel elektriciteit = 17 % (19 % incl. Sleco)
Thermisch rendement WKK	0%		Gemiddeld rendement in Vlaanderen = 15 %. Voor $\eta_{elekt.}=11\%$ is voor $\eta_{bruto}=23\%$, $\eta_{therm.}=18\%$, voor $\eta_{bruto}=28,5\%$, $\eta_{therm.}=26\%$, voor $\eta_{bruto}=31,5\%$, $\eta_{therm.}=31\%$
Thermisch referentierendement bepaling kwaliteit WKK	80,0%		Brandstoftype: bio-afbreekbaar afval
Elektrisch referentierendement bepaling kwaliteit WKK	25,0%		Brandstoftype: bio-afbreekbaar afval
Relatieve primaire energiebesparing (RPE) kwaliteit WKK	20,6%		Bij RPE < 10 % geen WKC tenzij bij E < 1MWe moet RPE > 0 %
Thermisch referentierendement bepaling aantal WKC	90,0%		Zelfde als fossiel tenzij voor biogas: 70 %
Elektrisch referentierendement bepaling aantal WKC	25,0%		Brandstoftype: bio-afbreekbaar afval
Relatieve primaire energiebesparing (RPE) aantal WKC	20,6%		
Bruto elektrisch rendement *	31,5%		Bruto elektrisch rendement = elektrisch rendement + 2/3*thermisch rendement *
Investeringskosten	2700	Euro/kWe	Voor S ($\eta_{bruto}=23\%$) = 2375 €/kWe, U ($\eta_{bruto}=28,5\%$) = 2375 €/kWe en H ($\eta_{bruto}=31,5\%$) = 2700 €/kWe *
Onderhoudskosten vast	0	Euro/kWe	
Onderhoudskosten variabel	0,013	Euro/kWhe	Voor S ($\eta_{bruto}=23\%$) = 0,012 €/kWe, U ($\eta_{bruto}=28,5\%$) = 0,012 €/kWe en H ($\eta_{bruto}=31,5\%$) = 0,013 €/kWe *
Overige operationele kosten	0	Euro/kWhe	
Kosten secundaire brandstof (biomassa)	7	Euro/ton	In Vlaanderen Milieueffing van 7 €/ton voor verbranden huishoudelijke afvalstoffen.
Energie-inhoud secundaire brandstof (biomassa)	10	GJ/ton	
Kosten primaire brandstof elektriciteit	0,00	Euro/ton of Euro/m3	
Energie-inhoud primaire brandstof elektriciteit	0,00	GJ/ton	
Effectiviteit brandstofsubstitutie elektriciteit	0%		
Kosten primaire brandstof verwarming (aardgas)	0,1800	Euro/m3	
E-inhoud vermeden brandstof verwarming (aardgas)	0,03165	GJ/m3	
Thermisch referentierendement (aardgasketel)	90,0%		
Marktprijs stroom	0,000	Euro/kWh	stroomprijs meegerekend via jaarlijkse correctie op basisbedrag
Kosten van onbalans	0	Euro/kWh	
Minimumsteun warmtekrachtcertificaten	0,027	Euro/kWh	
IA van toepassing?	nee		Vul in: ja of nee
IA	13,5%		Maximaal deel van de investering in aanmerking voor IA
IA max	200.000.000	Euro	Er is geen maximale investeringsaf trek in Vlaanderen
Gedeelte van de investering in aanmerking IA	100%		
Steunpercentage ecologiepremie (EP)	10,0%		
Percentage meerkost in aanmerking voor EP	50,0%		Technologie nr. LTL: 1162
Milieuprestandie-indicator	0,46		
EP max	1.500.000		Maximale ecologiepremie
Rente lening	5%		5 % (VL). 6 % (NL)
Vereiste return on equity	12%		
Equity share in investering incl. IA effect	33%		
Debt share in investering incl. IA effect	67%		
vennootschapsbelasting	34%		
Termijn lening	10 Jaar		10 jaar (VL). 15 jaar (NL)
Afschrijvingstermijn	10 Jaar		10 jaar (VL). 15 jaar (NL)
Beleidsperiode (subsidiejaar)	10 Jaar		10 jaar (VL). 15 jaar (NL)

* De cases zijn gedefinieerd als functie van het bruto rendement, waarbij het nuttig gebruik van warmte voor 2/3 wordt meegeteld. Het netto rendement ligt 2% punt lager als gevolg van het elektrisch eigen verbruik dat samenhangt met de verwerking van het afval en komt voornamelijk voor rekening van de rookgasreiniging.

Tabel 16: Inputvariabelen fotovoltaïsche zonnepanelen voor particulieren (nieuwbouw (N) en renovatie (R)) (PV1)

INPUTVARIABLEN	Waarde	Eenheid	Commentaar	
Unit grootte		2 kWe		
Unit grootte elektriciteitsdeel		2 kWe		
Bedrijfstijd/vollasturen	850	Uren/jaar		
Economische levensduur	20	Jaar	20 jaar (VL), 15 jaar (NL)	
Elektrisch rendement	0%			
Thermisch rendement WKK	0%			
Thermisch referentierendement WKK	0,0%		Ministerieel besluit inzake de vastlegging van referentierendementen voor toepassing van de voorwaarden voor kwalitatieve warmtekrachtinstallaties Warmtekrachtcertificaten maar toegekend bij RPE > 5 %.	
Elektrisch referentierendement WKK	0,0%			
Relatieve primaire energiebesparing (RPE)	0,0%			
Besparing op BSB voor WKK	0,0000	Euro/m3		
Investeringskosten	5445	Euro/kWe	Kosten zonder BTW = 4500 €/kWe. Voor N(BTW=21%) = 5445€/kWe. Voor R(BTW=6%) = 4770 €/kWe.	
Onderhoudskosten vast	0	Euro/kWe		
Onderhoudskosten variabel	0,037	Euro/kWhe		
Overige operationele kosten	0	Euro/kWhe		
Energie inhoud secundaire brandstof	0	GJ/ton		
Kosten secundaire brandstof	0	Euro/ton		
Brandstofkosten te vervangen brandstof	0,00	Euro/ton of Euro/m3		
Effectiviteit brandstofsubstitutie	0%			
E-inhoud te vervangen brandstof	0	GJ/ton of GJ/m3		
Marktprijs stroom	0,000	Euro/kWh		stroomprijs meegerekend via jaarlijkse correctie op basisbedrag
Kosten van onbalans	0	Euro/kWh		
Minimumsteun warmtekrachtcertificaten	0,027	Euro/kWh		
IA van toepassing?	nee		Vul in: ja of nee	
IA	13,5%		Maximaal deel van de investering in aanmerking voor IA	
IA max	200.000.000	Euro	Er is geen maximale investeringsaftrek in Vlaanderen	
Gedeelte van de investering in aanmerking IA	100%			
Steunpercentage ecologiepremie (EP)	40,0%		In Vlaanderen is 40 % van de investering fiscaal aftrekbaar voor een maximum van 3600 €	
Percentage meerkost in aanmerking voor EP	100,0%			
Milieuperformantie-indicator	1,00			
EP max	3.600	Euro	Maximale ecologiepremie	
Rente lening	5,0%	Jaar	5% (VL), 2,6 % (NL)	
Vereiste return on equity	5,0%		3 % OT Vito 2005. Gelijk aan rente op lening ECN 2007	
Equity share in investering incl. IA effect	100%			
Debt share in investering incl. IA effect	0%			
vennootschapsbelasting	0%			
Termijn lening	10	Jaar	10 jaar (VL), 15 jaar (NL)	
Afschrijvingstermijn	10	Jaar	10 jaar (VL), 15 jaar (NL)	
Beleidsperiode (subsidieduur)	20	Jaar	20 jaar (VL), 15 jaar (NL)	

Tabel 17: Inputvariabelen fotovoltaïsche zonnepanelen voor ondernemingen (PV2)

INPUTVARIABLEN	Waarde	Eenheid	Commentaar
Unit grootte	100	kWe	
Unit grootte elektriciteitsdeel	100	kWe	
Bedrijfstijd/vollasturen	850	Uren/jaar	
Economische levensduur	20	Jaar	20 jaar (VL). 15 jaar (NL)
Elektrisch rendement	0%		
Thermisch rendement WKK	0%		
Thermisch referentierendement WKK	0,0%		Ministerieel besluit inzake de vastlegging van referentierendementen voor toepassing van de voorwaarden voor kwalitatieve warmtekrachtinstallaties
Elektrisch referentierendement WKK	0,0%		
Relatieve primaire energiebesparing (RPE)	0,0%		
Besparing op BSB voor WKK	0,0000	Euro/m3	Warmtekrachtcertificaten maar toegekend bij RPE > 5 %.
Investeringskosten	4300	Euro/kWe	
Onderhoudskosten vast	0	Euro/kWe	
Onderhoudskosten variabel	0,027	Euro/kWhe	
Overige operationele kosten	0	Euro/kWhe	
Energie inhoud secundaire brandstof	0	GJ/ton	
Kosten secundaire brandstof	0	Euro/ton	
Brandstofkosten te vervangen brandstof	0,00	Euro/ton of Euro/m3	
Effectiviteit brandstofsubstitutie	0%		
E-inhoud te vervangen brandstof	0	GJ/ton of GJ/m3	
Marktprijs stroom	0,000	Euro/kWh	stroomprijs meegerekend via jaarlijkse correctie op basisbedrag
Kosten van onbalans	0	Euro/kWh	
Minimumsteun warmtekrachtcertificaten	0,027	Euro/kWh	
IA van toepassing?	ja		Vul in: ja of nee
IA	13,5%		Maximaal deel van de investering in aanmerking voor IA
IA max	200.000.000	Euro	Er is geen maximale investeringsaftrek in Vlaanderen
Gedeelte van de investering in aanmerking IA	100%		
Steunpercentage ecologiepremie (EP)	10,0%		
Percentage meerkost in aanmerking voor EP	30,0%		Technologie nr. LTL: 2
Milieuperformantie-indicator	0,69		
EP max	1.500.000	Euro	Maximale ecologiepremie
Rente lening	5%		
Vereiste return on equity	15%		
Equity share in investering incl. IA effect	20%		
Debt share in investering incl. IA effect	80%		
vennootschapsbelasting	34%		
Termijn lening	10	Jaar	10 jaar (VL). 15 jaar (NL)
Afschrijvingstermijn	10	Jaar	10 jaar (VL). 15 jaar (NL)
Beleidsperiode (subsidieduur)	20	Jaar	20 jaar (VL). 15 jaar (NL)

Tabel 18: Inputvariabelen covergisting mest en co-substraat (energie-mais) en valorisatie biogas in WKK < 10 MWe (V1)

INPUTVARIABLEN	Waarde	Eenheid	Commentaar
Unit grootte	5000	kWe	
Unit grootte elektriciteitsdeel	5000	kWe	
Bedrijfstijd/vollasturen	7500	Uren/jaar	
Economische levensduur	10	Jaar	10 jaar (VL). 12 jaar (NL)
Elektrisch rendement	27%		Totaal elektrisch rendement = rendement vergisting (67 %) * elektrisch rendement gasmotor (40%)
Thermisch rendement WKK	15,0%		Totaal thermisch rendement = rendement vergisting (67 %) * thermisch rendement gasmotor (45 %) / 2 (helpt warmte vereist voor proces zelf)
Thermisch referentierendement bepaling kwaliteit WKK	80,0%		Brandstoftype: bio-afbreekbaar afval
Elektrisch referentierendement bepaling kwaliteit WKK	25,0%		Brandstoftype: bio-afbreekbaar afval
Relatieve primaire energiebesparing (RPE) kwaliteit WKK	21,1%		Bij RPE < 10 % geen WKC tenzij bij E < 1MWe moet RPE > 0 %
Thermisch referentierendement bepaling aantal WKC	90,0%		Zelfde als fossiel tenzij voor biogas: 70 %
Elektrisch referentierendement bepaling aantal WKC	25,0%		Brandstoftype: bio-afbreekbaar afval
Relatieve primaire energiebesparing (RPE) aantal WKC	19,8%		
Investeringskosten	2500	Euro/kWe	
Onderhoudskosten vast	200	Euro/kWe	
Onderhoudskosten variabel	0	Euro/kWhe	
Overige operationele kosten	0	Euro/kWhe	
Kosten secundaire brandstof (biomassa)	15,5	Euro/ton	
Energie-inhoud secundaire brandstof (biomassa)	3	GJ/ton	
Kosten primaire brandstof elektriciteit	0,00	Euro/ton of Euro/m3	
Energie-inhoud primaire brandstof elektriciteit	0,00	GJ/ton	
Effectiviteit brandstofsubstitutie elektriciteit	0%		
Kosten primaire brandstof verwarming (aardgas)	0,1800	Euro/m3	
E-inhoud vermeden brandstof verwarming (aardgas)	0,03165	GJ/m3	
Thermisch referentierendement (aardgasketel)	90,0%		
Marktprijs stroom	0,000	Euro/kWh	stroomprijs meegerekend via jaarlijkse correctie op basisbedrag
Kosten van onbalans	0	Euro/kWh	
Minimumsteun warmtekrachtcertificaten	0,027	Euro/kWh	
IA van toepassing?	ja		Vul in: ja of nee
IA	13,5%		Maximaal deel van de investering in aanmerking voor IA
IA max	200.000.000	Euro	Er is geen maximale investeringsaftrek in Vlaanderen
Gedeelte van de investering in aanmerking IA	100%		
Steunpercentage ecologiepremie (EP)	10,0%		
Percentage meerkost in aanmerking voor EP	50,0%		Technologie nr. LTL: 100015
Milieuperformantie-indicator	0,46		
EP max	1.500.000		Maximale ecologiepremie
Rente lening	5%		
Vereiste return on equity	15%		
Equity share in investering incl. IA effect	20%		
Debt share in investering incl. IA effect	80%		
vennootschapsbelasting	34%		
Termijn lening	10	Jaar	10 jaar (VL). 12 jaar (NL)
Afschrijvingstermijn	10	Jaar	10 jaar (VL). 12 jaar (NL)
Beleidsperiode (subsidieduur)	10	Jaar	10 jaar (VL). 12 jaar (NL)

Tabel 19: Inputvariabelen vergisting en valorisatie biogas RWZI/AWZI-slib (V2)

INPUTVARIABLEN	Waarde	Eenheid	Commentaar
Unit grootte	500	kWe	
Unit grootte elektriciteitsdeel	500	kWe	
Bedrijfstijd/vollasturen	1006	Uren/jaar	1006 uren/jaar (VL). 7000 uren/jaar (NL). Ligt laag in Vlaanderen doordat de slibaanvoer onvoldoende is
Economische levensduur	10	Jaar	10 jaar (VL). 15 jaar (NL)
Elektrisch rendement	27%		Totaal elektrisch rendement = rendement vergisting (67 %) * elektrisch rendement gasmotor (40%)
Thermisch rendement WKK	15%		Totaal thermisch rendement = rendement vergisting (67 %) * thermisch rendement gasmotor (45 %) / 2 (helpt warmte vereist voor proces zelf)
Thermisch referentierendement bepaling kwaliteit WKK	80,0%		Brandstoftype: bio-afbreekbaar afval
Elektrisch referentierendement bepaling kwaliteit WKK	25,0%		Brandstoftype: bio-afbreekbaar afval
Relatieve primaire energiebesparing (RPE) kwaliteit WKK	21,1%		Bij RPE < 10 % geen WKC tenzij bij E < 1MWe moet RPE > 0 %
Thermisch referentierendement bepaling aantal WKC	90,0%		Zelfde als fossiel tenzij voor biogas: 70 %
Elektrisch referentierendement bepaling aantal WKC	25,0%		Brandstoftype: bio-afbreekbaar afval
Relatieve primaire energiebesparing (RPE) aantal WKC	19,8%		
Investeringskosten	1675	Euro/kWe	
Onderhoudskosten vast	175	Euro/kWe	
Onderhoudskosten variabel	0,011	Euro/kWhe	Gegevens Aquafin
Overige operationele kosten	0	Euro/kWhe	
Kosten secundaire brandstof (biomassa)	0	Euro/ton	
Energie-inhoud secundaire brandstof (biomassa)	3	GJ/ton	
Kosten primaire brandstof elektriciteit	0,00	Euro/ton of Euro/m3	
Energie-inhoud primaire brandstof elektriciteit	0	GJ/ton	
Effectiviteit brandstofsubstitutie elektriciteit	0%		
Kosten primaire brandstof verwarming (aardgas)	0,1800	Euro/m3	
E-inhoud vermeden brandstof verwarming (aardgas)	0,03165	GJ/m3	
Thermisch referentierendement (aardgasketel)	90,0%		
Marktprijs stroom	0,000	Euro/kWh	stroomprijs meegerekend via jaarlijkse correctie op basisbedrag
Kosten van onbalans	0	Euro/kWh	
Minimumsteun warmtekrachtcertificaten	0,027	Euro/kWh	
IA van toepassing?	ja		Vul in: ja of nee
IA	13,5%		Maximaal deel van de investering in aanmerking voor IA
IA max	200.000.000	Euro	Er is geen maximale investeringsaftrek in Vlaanderen
Gedeelte van de investering in aanmerking IA	100%		
Steunpercentage ecologiepremie (EP)	10,0%		
Percentage meerkost in aanmerking voor EP	50,0%		Technologie nr. LTL: 100015
Milieuperformantie-indicator	0,46		
EP max	1.500.000	Euro	Maximale ecologiepremie
Rente lening	5%		
Vereiste return on equity	15%		
Equity share in investering incl. IA effect	20%		
Debt share in investering incl. IA effect	80%		
vennootschapsbelasting	34%		
Termijn lening	10	Jaar	10 jaar (VL). 12 jaar (NL)
Afschrijvingstermijn	10	Jaar	10 jaar (VL). 12 jaar (NL)
Beleidsperiode (subsidieduur)	10	Jaar	10 jaar (VL). 12 jaar (NL)

Tabel 20: Inputvariabelen energetische valorisatie stortgas (V3)

INPUTVARIABLEN	Waarde	Eenheid	Commentaar
Unit grootte	500	kWe	
Unit grootte elektriciteitsdeel	500	kWe	
Bedrijfstijd/vollasturen	4566	Jaar	4566 uren/jaar (VL), 6500 uren/jaar (NL)
Economische levensduur	10	Jaar	10 jaar (VL), 12 jaar (NL)
Elektrisch rendement	35%		
Thermisch rendement WKK	45%		
Thermisch referentierendement bepaling kwaliteit WKK	70,0%		Brandstoftype: biogas
Elektrisch referentierendement bepaling kwaliteit WKK	42,0%		Brandstoftype: biogas
Relatieve primaire energiebesparing (RPE) kwaliteit WKK	32,3%		Bij RPE < 10 % geen WKC tenzij bij E < 1MWe moet RPE > 0 %
Thermisch referentierendement bepaling aantal WKC	70,0%		Zelfde als fossiel tenzij voor biogas: 70 %
Elektrisch referentierendement bepaling aantal WKC	42,0%		Brandstoftype: biogas
Relatieve primaire energiebesparing (RPE) aantal WKC	32,3%		
Investeringskosten	1000	Euro/kWe	
Onderhoudskosten vast	128	Euro/kWe	
Onderhoudskosten variabel	0	Euro/kWhe	
Overige operationele kosten	0	Euro/kWhe	
Kosten secundaire brandstof (biomassa)	0,01	Euro/m ³	
Energie-inhoud secundaire brandstof (biomassa)	0,0192	GJ/m ³	
Kosten primaire brandstof elektriciteit	0,00	Euro/ton of Euro/m3	
Energie-inhoud primaire brandstof elektriciteit	0	GJ/kg	
Effectiviteit brandstofsubstitutie elektriciteit	0%		
Kosten primaire brandstof verwarming (aardgas)	0,1800	Euro/m3	
E-inhoud vermeden brandstof verwarming (aardgas)	0,03165	GJ/ton of GJ/m3	
Thermisch referentierendement (aardgasketel)	90,0%		
Marktprijs stroom	0,000	Euro/kWh	stroomprijs meegerekend via jaarlijkse correctie op basisbedrag
Kosten van onbalans	0	Euro/kWh	
Minimumsteun warmtekrachtcertificaten	0,027	Euro/kWh	
IA van toepassing?	ja		Vul in: ja of nee
IA	13,5%		Maximaal deel van de investering in aanmerking voor IA
IA max	200.000.000	Euro	Er is geen maximale investeringsaftrek in Vlaanderen
Gedeelte van de investering in aanmerking IA	100%		
Steunpercentage ecologiepremie (EP)	10,0%		
Percentage meerkost in aanmerking voor EP	50,0%		Technologie nr. LTL: 100015
Milieuperformantie-indicator	0,46		
EP max	1.500.000		Maximale ecologiepremie
Rente lening	5%		
Vereiste return on equity	15%		
Equity share in investering incl. IA effect	20%		
Debt share in investering incl. IA effect	80%		
vennootschapsbelasting	34%		
Termijn lening	10	Jaar	10 jaar (VL), 12 jaar (NL)
Afschrijvingstermijn	10	Jaar	10 jaar (VL), 12 jaar (NL)
Beleidsperiode (subsidieduur)	10	Jaar	10 jaar (VL), 12 jaar (NL)

Tabel 21: Gebruikte elektriciteitsprijzen en onbalansfactor

Electriciteitsprijs (uurgemiddelde prijs van de day ahead base load index op Belpex/APX) ¹	7,06	c€/kWh	Gecorrigeerde onrendabele top (GOT) = OT-electriciteitsprijs*onbalansfactor (=0,89). De electriciteitsprijs is gelijk aan 7,06 ct/kWh voor 2008. Trilaterale marktkoppeling tussen Frankrijk, België en Nederland zorgt ervoor dat de uurgemiddelde basislastprijzen op jaarbasis zo goed als gelijk zijn.
Onbalansfactor ²	0,89	[-]	Voor windenergie. Voor zonne-energie wordt verondersteld dat alle geproduceerde energie ter plaatse wordt aangewend.
Electriciteitsprijs voor particulieren ³	19,7	c€/kWh	Vlaanderen. Voor kleinschalige zonne-energie wordt met deze electriciteitsprijs gerekend.
Electriciteitsprijs voor particulieren ⁴	23,4	c€/kWh	Nederland. Voor kleinschalige zonne-energie wordt met deze electriciteitsprijs gerekend.

¹ <http://www.belpex.be/>

² MR aanwijzing categorieën duurzame energieproductie SDE - Regeling van de Minister van Economische Zaken van 3 maart 2008, nr. WJZ 8024254, houdende aanwijzing van categorieën productie-installaties voor de stimulering van duurzame energieproductie in het jaar 2008 (Regeling aanwijzing categorieën duurzame energieproductie 2008)

³ Electricity prices for first semester 2008, Eurostat, 2008.

⁴ Regeling vaststelling correcties voorschotverlening duurzame energieproductie, Staatscourant 3 maart 2008, nr. 44 / pag. 11.

7.1.4. Functioneel equivalente hoeveelheid materiaal

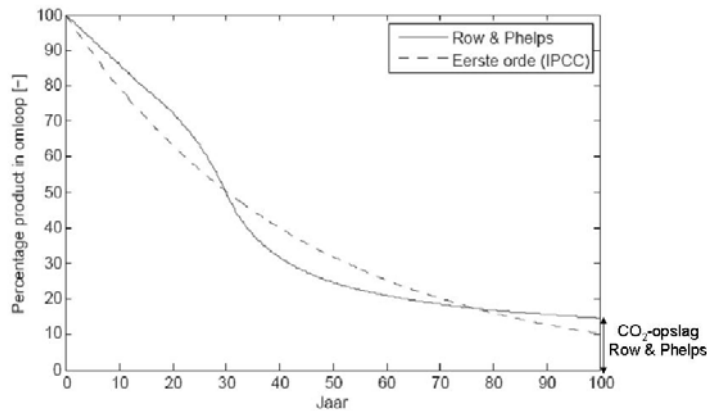
Indien houtafval, dat anders als materiaal wordt aangewend, energetisch wordt gevaloriseerd, zal een ander materiaal de functie van hout moeten vervullen. Op basis van deze functie moet dan een gesubstitueerd equivalent materiaal berekend worden. Een gesubstitueerd equivalent materiaal is meestal veel moeilijker te berekenen dan een gesubstitueerd equivalent brandstof. Vaak worden daarom vergelijkingen tussen materialen gemaakt onafhankelijk van de functie. Men gaat er dan van uit dat 1 ton hout equivalent is met 1 ton referentiemateriaal, en men vergelijkt de emissies voor de productie van 1 ton hout met de emissies voor de productie van 1 ton referentiemateriaal (Reid H. et al., Using wood products to mitigate climate change: a review of evidence and key issues for sustainable development. The Edinburgh centre for carbon management (ECCM) and the international institute for environment and development (IIED), 2004).

Dit zal goede benaderingen geven als de functie die dient vervuld te worden slechts in beperkte mate afhankelijk is van de karakteristieken van het materiaal of de karakteristieken van de materialen, zoals de dichtheid en de sterkte, gelijkaardig zijn. Producten afgeleid van biologische materialen, zoals hout, hebben meestal een gelijkaardige dichtheid en voor deze materialen zal de equivalentie-veronderstelling goed opgaan. De meeste niet-biologische materialen hebben echter een veel grotere dichtheid dan hout of van hout afgeleide producten (Tabel 31). Voor het vervangen van een niet-dragende muur in baksteen door een muur in spaanplaat is bv. een kleinere massa hout vereist. 1 ton hout is met andere woorden equivalent met een groter aantal ton van het referentiemateriaal. Voor dit geval zal het vergelijken van materialen zonder rekening te houden met de functie, dus 1 ton referentiemateriaal wordt vervangen door 1 ton hout, een onderschatting geven van de emissiereductie per ton hout. Uiteraard zijn er ook toepassingen waarbij dezelfde veronderstelling een overschatting zal geven. Het vervaardigen van meubels in staal in plaats van bijvoorbeeld spaanplaat zal op volumebasis veel minder materiaal vereisen door de grotere sterkte van staal. Opdat voor een bepaald meubelstuk 1 ton hout equivalent zou zijn met minder dan een ton staal, moet op volumebasis minstens 13 keer minder staal gebruikt worden om te compenseren voor de hogere dichtheid (7850 t.o.v. 600 kg/m³ voor spaanplaat (Tabel 31)). In de meeste gevallen zal 1 ton hout niet equivalent zijn met 1 ton van een niet-biologisch referentiemateriaal. Voor een aantal materialen waar de equivalentie-veronderstelling niet opgaat werd naar resultaten uit de literatuur verwezen.

7.1.5. CO₂-opslag in hout

Verschillende methoden zijn inmiddels ontwikkeld om de hoeveelheid producten die na een bepaalde periode nog in omloop zijn te schatten en op basis van die resterende productfractie een hoeveelheid opgeslagen CO₂ aan het product toe te kennen. Het NCASI (National Council for Air and Stream Improvement) stelt voor om de methode van Row en Phelps toe te passen en de CO₂ die na 100 jaar nog opgeslagen is in de resterende productfractie als permanent opgeslagen te beschouwen (Figuur 25) (Miner, 2003). Een alternatieve methode voorgesteld door het IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) is de eerste orde methode (Figuur 25).

Figuur 25: Geschatte hoeveelheid producten in omloop aan de hand van twee verschillende methoden voor een product met een gemiddelde levensduur van 30 jaar. De CO₂-opslag wordt berekend op basis van de resterende productfractie na 100 jaar



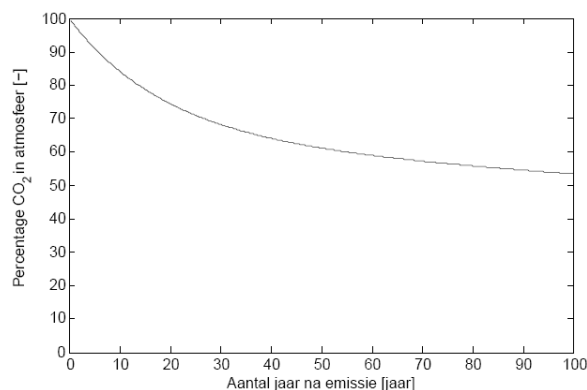
De eerste orde methode is een zeer eenvoudige methode en gaat ervan uit dat elk jaar een constant percentage producten uit omloop verdwijnt. In realiteit zal echter voor de levensduur is bereikt een grotere hoeveelheid in omloop blijven en wanneer de gemiddelde levensduur is bereikt, zullen de producten versneld uit omloop verdwijnen. Ook kunnen bepaalde producten met een relatief korte levensduur, zoals papier, toch zeer lang in omloop blijven. Dit wordt het 'archiveringseffect' genoemd (Miner, 2003). De Row en Phelps methode probeert deze aspecten in rekening te brengen en deze methode zal ook hier gebruikt worden. De CO₂-opslag toegekend aan houten producten wordt bekomen door de koolstofinhoud (ton C), die typisch 50 % van de massa bedraagt, van de resterende productfractie na 100 jaar, te vermenigvuldigen met de factor 44/12, die de verhouding is van de massa van een CO₂-molecule ten opzichte van de massa van een koolstofatoom (C).

De horizon van 100 jaar lijkt echter onrealistisch met betrekking tot belangrijke technologische doorbraken, zoals de efficiënte opslag van CO₂, die de komende 20 jaar worden verwacht. Daarom werd de CO₂-reductie door recyclage berekend voor twee verschillende horizons, namelijk 20 en 100 jaar. In beide gevallen werd de koolstof die na de horizon nog in het materiaal is opgeslagen als permanent opgeslagen beschouwd.

7.1.6. Tijdstip CO₂-emissies

Een aspect dat in veel LCA studies wordt vergeten, is het tijdstip van de emissies (Petersen A.K. and Solberg B., Environmental and economic impacts of substitution between wood products and alternative materials: a review of micro-level analyses from Norway and Sweden. Forest Policy and Economics 2005, 7: 249-259). Een hoeveelheid CO₂, die vandaag wordt uitgestoten, zal binnen 25 jaar nog maar voor ongeveer 70 % in de atmosfeer aanwezig zijn omwille van de talrijke terugkoppelingen tussen de atmosfeer, de hydrosfeer, de cryosfeer, de biosfeer en de lithosfeer (Figuur 26).

Figuur 26: Evolutie van de hoeveelheid CO₂ in de atmosfeer in functie van de tijd ten gevolge van een emissie vandaag



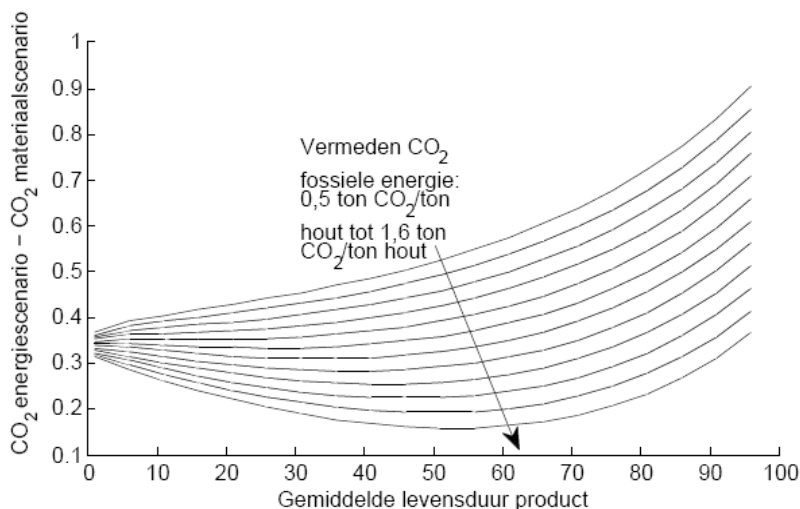
Bron: Forster P. et al., Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. 4th Assessment Report, Working Group 1, chapter 2. IPCC, 2007

Een scenario met initieel een hogere uitstoot dan een ander scenario kan door emissies in de toekomst over de periode van de analyse toch aanleiding geven tot een gemiddeld lagere hoeveelheid CO₂ in de atmosfeer. De meest gebruikte horizon voor analyses in verband met klimaatverandering is 100 jaar. Het gevolg van te werken met een bepaalde horizon is dat een emissie op een tijdstip dicht tegen deze horizon minder invloed zal hebben op de gemiddelde hoeveelheid CO₂ in de atmosfeer tijdens de analyseperiode dan een zelfde emissie in jaar 1. Emissies wegen met andere woorden minder door naarmate ze verder in de toekomst plaatsvinden. Dit zal nadelig zijn voor het scenario materiaalrecuperatie, waar alle emissies, met name de emissies van recyclage en productie van elektriciteit en warmte op basis van fossiele brandstoffen, in jaar 1 plaatsvinden. Dit effect zal bovendien belangrijker worden naarmate enerzijds de vermeden emissies door energetische valorisatie toenemen ten opzichte van de vermeden emissies van materiaalsubstitutie en CO₂-opslag en anderzijds de levensduur van het beschouwde product stijgt doordat vermeden emissies van energetische valorisatie op het einde van de levenscyclus dichter naar de horizon opschuiven (Figuur 27). De gevolgen van dit effect zijn echter niet onrealistisch. Er kan immers verwacht worden dat in de toekomst steeds meer en betere emissie-arme energieconversietechnologieën zullen ontwikkeld worden evenals efficiënte technologieën voor de opslag van CO₂. Om het effect van de horizon te illustreren werd de CO₂-reductie door recyclage berekend voor twee verschillende horizinten, namelijk 20 en 100 jaar. In beide gevallen werd de koolstof die na de horizon nog in het materiaal is opgeslagen als permanent opgeslagen beschouwd.

Figuur 27 toont dat bij een vermeden emissie voor brandstofsubstitutie van 1,4 ton CO₂/ton hout de CO₂-reductie door recyclage minimaal is in de buurt van een levensduur van 40 jaar. Bij een levensduur van 20 jaar is de CO₂-reductie door recyclage gestegen tot 0,26 ton CO₂/ton hout. Dit komt doordat de vermeden emissies van brandstofsubstitutie, door energetische valorisatie op het einde van de levensduur van de spaanplaten, minder ver in de toekomst vallen en dus zwaarder doorwegen dan bij een levensduur van 40 jaar. Bij een levensduur van 80 jaar is de CO₂-reductie door recyclage echter gestegen tot 0,32 ton CO₂/ton hout. Dit kan verklaard worden doordat de opgeslagen CO₂ sterker stijgt met de levensduur dan

dat de impact van vermeden emissies door brandstofs substitutie daalt door verschuiving naar de toekomst.

Figuur 27: Verschil gemiddelde hoeveelheid CO₂ in de atmosfeer over een periode van 100 jaar tussen het scenario energetische valorisatie en het scenario recyclage in functie van de gemiddelde levensduur van het product en de hoeveelheid vermeden CO₂-uitstoot door substitutie van fossiele brandstoffen voor gipsplaat als referentiemateriaal. De vermeden emissies door substitutie van fossiele brandstoffen werden in stappen van 0,1 gevarieerd van 0,5 ton CO₂/ton hout tot 1,6 ton CO₂/ton hout. De ondergrens komt ongeveer overeen met verwerking van houtafval in een afvalverbrandingsinstallatie (Tabel 26). De bovengrens komt ongeveer overeen met verwerking in een stookinstallatie met steenkool als referentiebrandstof (Tabel 26).

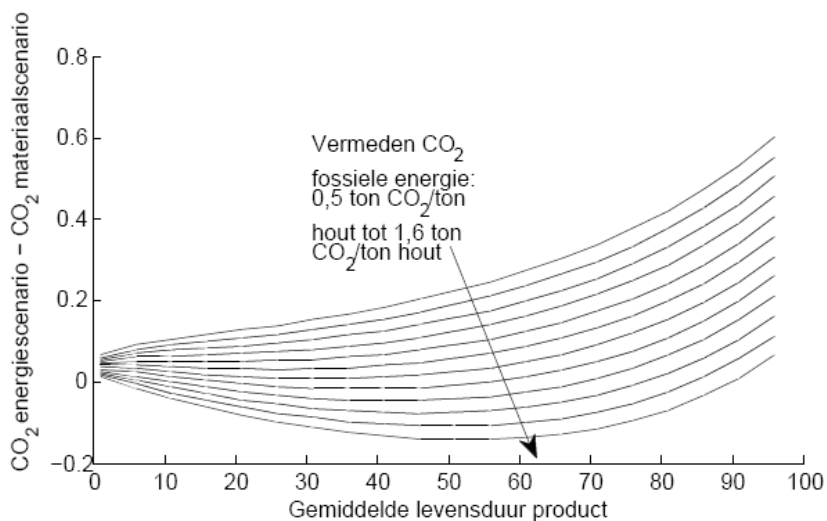


Er kan verwacht worden dat, naarmate de vermeden emissies door brandstofs substitutie dalen door energetische valorisatie met een lager rendement, de CO₂-opslag een steeds grotere impact zal hebben. Figuur 27 toont dat de CO₂-reductie door recyclage monotoon stijgt met de levensduur vanaf ongeveer 0,9 ton CO₂/ton hout vermeden door brandstofs substitutie. Dit komt overeen met energetische valorisatie in een stookinstallatie met aardgas als referentie (Tabel 26). Aangezien een ander referentiemateriaal enkel voor een verticale verschuiving van de curven in Figuur 27 zal zorgen, zal onafhankelijk van het referentiemateriaal bij energetische valorisatie in een stookinstallatie met aardgas als referentie de CO₂-reductie door recyclage monotoon stijgen met de levensduur van het recyclageproduct.

Figuur 28 geeft de CO₂-reductie door recyclage voor een fictief referentiemateriaal met gelijke emissies bij productie van het referentiemateriaal als bij recyclage van houtafval. Onder 0,9 ton CO₂/ton hout vermeden door brandstofs substitutie stijgt de CO₂-reductie door recyclage inderdaad monotoon met de levensduur. Vanaf 1,2 ton CO₂/ton hout vermeden door brandstofs substitutie is er echter niet langer sprake van een CO₂-reductie door recyclage. Bij vervangen van bijvoorbeeld een stookinstallatie op steenkool door een WKK op houtafval (1,4 ton CO₂/ton hout vermeden emissie, Tabel 26) en gebruik van een materiaal met gelijkaardige emissies bij productie als recyclage van houtafval, moet het recyclageproduct al een

levensduur van meer dan ongeveer 80 jaar hebben voor er terug sprake is van een CO₂-reductie door recyclage (Figuur 28).

Figuur 28: Verschil gemiddelde hoeveelheid CO₂ in de atmosfeer over een periode van 100 jaar tussen het scenario energetische valorisatie en het scenario recyclage in functie van de gemiddelde levensduur van het product en de hoeveelheid vermeden CO₂-uitstoot door substitutie van fossiele brandstoffen voor een fictief referentiemateriaal met dezelfde CO₂-uitstoot bij productie als bij recyclage van spaanplaten. De vermeden emissies door substitutie van fossiele brandstoffen werden in stappen van 0,1 gevarieerd van 0,5 ton CO₂/ton hout tot 1,6 ton CO₂/ton hout. De ondergrens komt ongeveer overeen met verwerking van houtafval in een afvalverbrandingsinstallatie (Tabel 26). De bovengrens komt ongeveer overeen met verwerking in een stookinstallatie met steenkool als referentiebrandstof (Tabel 26).



7.1.7. Vergelijking andere emissies ten gevolge van energetische valorisatie en recyclage van houtafval

Voor het vergelijken van de CO₂-uitstoot van het scenario recyclage met het scenario energetische valorisatie moest met vier belangrijke aspecten rekening gehouden worden. Ten eerste moest een energetisch equivalente hoeveelheid hout berekend worden ten opzichte van een referentiebrandstof voor een bepaalde installatie. Ten tweede moest een functioneel equivalente hoeveelheid materiaal berekend worden ten opzichte van een referentiemateriaal voor een bepaalde toepassing. Ten derde moest de CO₂-opslagfunctie van hout als materiaal in rekening gebracht worden. Tot slot werd ook rekening gehouden met het tijdstip van de emissie aangezien de effecten van een CO₂-emissie door de lange verblijftijd in de atmosfeer lang na de emissie merkbaar blijven.

Ook voor andere pollutanten moeten de emissies van energetisch equivalente hoeveelheden brandstof met elkaar vergeleken worden. Voor deze emissies is het echter meestal onmogelijk om emissiefactoren te berekenen aan de hand van de samenstelling van de brandstof aangezien deze emissies, in tegenstelling tot CO₂-emissies, niet louter brandstof gebonden zijn, maar ook afhankelijk zijn van de gebruikte technologie, zowel de thermochemische omzetting als de geïnstalleerde

rookgasreiniging. Om de vermeden emissies geassocieerd met energetische valorisatie van houtafval te berekenen zijn bijgevolg reële emissiedata vereist van de installatie, van het gemiddelde Belgische elektriciteitspark bij productie van elektriciteit en van een referentie stookinstallatie op fossiele brandstoffen bij productie van warmte. Deze emissiedata zijn echter niet allemaal beschikbaar.

Aangezien de emissies bij verbranding van brandstoffen met hoge concentraties aan zwavel of stikstof in een installatie met een goede rookgasreiniging en goede verbrandingscondities echter lager kunnen liggen dan bij verbranding van hout in een installatie zonder rookgasreiniging kan voor deze emissies geen opslagfunctie aan hout worden toegekend. Bovendien is de verblijftijd van deze emissies in de atmosfeer veel kleiner dan die van CO₂ waardoor de effecten van lokale emissies van houtverbranding niet noodzakelijk wereldwijd worden uitgesmeerd.

Het laatste aspect, het tijdstip van de emissie, zal belangrijker zijn naarmate de duur van de effecten van een bepaalde emissie toeneemt. Emissies van stof, dioxines, NO_x en SO₂ verdwijnen in vergelijking met CO₂ relatief snel uit de atmosfeer. De effecten van deze emissies stoppen echter, in tegenstelling tot die van CO₂, niet bij verwijdering uit de atmosfeer. Een belangrijk effect van NO_x en SO₂ is juist de verzuring van de bodem na verwijdering uit de atmosfeer via neerslag en depositie. Omdat de effecten van andere emissies dan CO₂ zeer uiteenlopend kunnen zijn, is het zeer moeilijk om de impact in functie van de tijd van zulke emissies in rekening te brengen.

Indien geen rekening wordt gehouden met het tijdstip van de emissies en met de ontwikkeling van betere emissiereductietechnieken in de toekomst reduceert het verschil in emissies tussen het scenario recyclage en het scenario energetische valorisatie zich tot het verschil in emissies door materiaalsubstitutie. De emissies door energetische valorisatie van fossiele brandstoffen in het scenario recyclage en energetische valorisatie van houtafval in het scenario energetische valorisatie in jaar 1 zullen immers gelijk zijn aan de emissies van energetische valorisatie van houtafval in het scenario recyclage en energetische valorisatie van fossiele brandstoffen in het scenario energetische valorisatie op het einde van de levensduur. Wanneer in de toekomst, door bv. de ontwikkeling en installatie van nog betere emissiereductietechnieken, de absolute emissiereductie ten opzichte van jaar 1 van energetische valorisatie van houtafval groter is dan de overeenkomstige emissiereductie door energetische valorisatie van fossiele brandstoffen, zal de globale emissiereductie groter zijn dan de emissiereductie door materiaalsubstitutie alleen. De emissies op beide tijdstippen compenseren elkaar dan immers niet meer volledig omdat de evolutie in technologie maakt dat de emissie gerelateerd aan energetische valorisatie van houtafval op een later tijdstip lager is vergeleken met een vroeger tijdstip.

7.2. Tabellen bij figuren

Tabel 22: Geproduceerde, verwerkte en gestorte hoeveelheden biologisch afval per afvalstroom en per verwerkingsoptie in 2005

Energie- houdende biologische afvalstoffen (kton/jaar)	Huishoudelijk afval					Bedrijfsafval										Totaal	% Aanbod
	Groenafval	GFT-afval ¹	Frituurvetten (GFVO)	Org.-biol. Restafval ²	Papier- en kartonafval ³	Org.-biol. Restafval ⁴	Bermeaaisel	Ander org.-biol. Afval ⁵	Hout ⁶	Dierlijke vetten/oliën	Diermeel	RWZI-slib ⁷	Koffievezelen/ koffiedik	Olijfpitten	Andere ⁸		
Productie Vlaanderen	541,687	371	4,8	353,515	454,274	137,625	248,438	3800	1300	105	170	86	0,4	0	92,523	7665,26	-
% Productie	7,07%	4,84%	0,00%	4,61%	5,93%	1,80%	3,24%	49,57%	16,96%	1,37%	2,22%	1,12%	0,01%	0,00%	1,21%		
Import									200				90	125		415,00	-
Export			4,8						161		72					237,80	-
Totaal aanbod	541,687	371	0	353,515	454,274	137,625	248,438	3800	1339	105,5	170	86	90,4	125	92,523	7914,96	100,00
% Aanbod	6,84%	4,69%	0,00%	4,47%	5,74%	1,74%	3,14%	48,01%	16,92%	1,33%	2,15%	1,09%	1,14%	1,58%	1,17%		
Energetische valorisatie	0	70	0	353,515	0	137,625	0	0	580	22	0	61,92	90	125	51,384	1491,44	18,84
Vergisten		70														70,00	0,88
Afvalverbrandingsoven				353,515		137,625						24,77			30,830	546,74	6,91
Steenkoolcentrale									180			37,15	90	125	20,554	452,71	5,72
Stookinstallatie									400	22						422,00	5,33
Materiaalrecuperatie	541,687	300,992	0	0	363,419	0	0	3489,55	908	83,5	94	23,82	0,4	0	29,714	5835,08	73,72
Hergebruik/Recyclage					363,419											375,84	4,75
Compost	541,687	300,992						89,551				10,32			2,100	936,14	11,83
Chemicaliën															3,914	4,50	0,06
Spaanplaatproductie									908	4,5						908,00	11,47
Landbouw								200			39		0,4		25,800	265,20	3,35
Dierenvoeding								3200		79	55					3334,00	42,12
Afdichting stortplaatsen												13,5				13,50	0,17
Totaal verwerkt	541,687	371	0	353,515	363,419	137,625	0	3489,55	1488	105,5	166	85,74	90,4	125	81,098	7398,54	93,48
Verwerkt-aanbod	0	0	0	0	90,855	0	248,438	310,449	-149	0	4	0,26	0	0	11,425	665,43	8,41
Storten					33							0,26					
Jaar gegevens	2004	2004	2005	2005	2005	2005	2005	2004	2005	2004	2004	2003	2005	2005	2003		

De gegevens komen uit 'Inventarisatie biomassa 2005' (OVAM, 2007), tenzij anders vermeld. Indien voor 2005 nog geen gegevens beschikbaar waren, werden de gegevens van 2004 en voor sommige afvalstromen van 2003 genomen. Bij schattingen is de ondergrens genomen van de beschikbare schattingen.

¹ 18,87 % wordt vergist en 81,33 % wordt gecomposteerd.

² Er wordt 822127 ton restafval verbrand en de biologische fractie is 43 % verondersteld (Inventarisatie biomassa 2005).

³ 454 274 ton selectief ingezameld (achtergrond afvalstoffen Mira T 2006). 80 % wordt gerecycleerd. 1ste kwartaal van 2007 werd 8253 ton gestort (OVAM). Extrapolatie geeft 33 000 ton gestort per jaar.

⁴ Restafval 320 058 ton en biologische fractie 43 % verondersteld. Gestorte fractie niet bekend, hier nul verondersteld. Gegevens dateren van vóór opstart SLECO in 2006.

⁵ Ondergrens van schatting uit 'Hernieuwbare warmte uit biomassa in Vlaanderen' (VITO, 2004).

⁶ Ondergrens van schatting in het Uitvoeringsplan Houtafval 2004-2008 (OVAM, 2004). Omvat enkel niet-verontreinigd houtafval (zowel onbehandeld als behandeld niet-verontreinigd). Het gaat grotendeels om houtafval van bedrijven; houtafval van huishoudens vertegenwoordigt ongeveer 17 %.

⁷ 12 % recyclage, 72 % verbranding (43,2 % coverbranding en 28,8 % monoverbranding in afvalverbrandingsinstallatie), 0,8 % storten en 15,7 % afdichting stortplaatsen.

Alvorens verbrand te worden, wordt een deel van het slib vergist. Er zijn echter geen gegevens over de vergiste hoeveelheden. Gegevens dateren van vóór opstart SLECO in 2006.

⁸ Samenstelling met tussen haakjes massafractie t.o.v. totaal biologisch afval: frituurvetten (0,11%) + slib voedingsindustrie (0,37%) + ontinkings-slib (0,52%) + textielslib (0,08%) + plantenschroot (0,06%).

Tabel 23: Energie-inhoud, elektriciteits- en warmteproductie per afvalstroom en per verwerkingsoptie op basis van Tabel 22

Energie-inhoud, elektriciteits- en warmteproductie	Eenheid	Huishoudelijk afval					Bedrijfsafval										Totaal
		Groenafval (HA)	GFT-afval (selectief) (HA)	Frituurvetten (GFVO) (HA)	Org.-biol. Restafval (HA)	Papier- en kartonafval (HA)	Org.-biol. Restafval (BA)	Bermmaaisel (BA)	Ander org.-biol. Afval (BA)	Hout (BA)	Dierlijke vetten/oliën (BA)	Diermeel (BA)	RWZI-slib (BA)	Koffievliezen/ koffiedik (BA)	Olijfpitten (BA)	Andere (BA) ⁵	
Calorische waarde	TJ/kton	3,7	3,7	39	7	15	3,7	2,7	2,7	15	39	17	2	9	14,8	-	-
Productie Vlaanderen	TJ	2004,24	1372,7	187,2	2474,61	6814,11	509,213	670,783	10260	19500	4095	2890	172	3,6	0	175,5851	51129,04
% Productie	TJ	3,89%	2,66%	0,36%	4,80%	13,21%	0,99%	1,30%	19,90%	37,81%	7,94%	5,60%	0,33%	0,01%	0,00%	0,34%	
Import	TJ									3000				810	1850,00		5660
Export	TJ			187,2						2415		1224					3826,2
Aanbod	TJ	2004,24	1372,7	0	2474,61	6814,11	509,213	670,783	10260	20085	4095	1666	172	813,6	1850	175,5851	52962,84
% Aanbod	-	3,92%	2,68%	0,00%	4,84%	13,33%	1,00%	1,31%	20,07%	39,28%	8,01%	3,26%	0,34%	1,59%	3,62%	0,34%	
Energie recuperatie	TJ	0	259	0	2474,61	0	509,213	0	0	8700	858	0	123,84	810	1850	152,735	15737,39
Veraistina ¹	GWh		6,30														6,30
Afvalverbrandingsoven ²	GWh				75,61		15,56						1,51			1,92	94,60
Afvalverbrandingsoven ²	GWth				103,11		21,22						2,06			2,62	129,01
Steenkoolcentrale ³	GWh								273,75				7,53	82,13	187,57	4,24	555,22
Stookinstallatie ⁴	GWth								1506,67	215,45							1722,12
Totaal elektriciteit	GWh		6,30		75,61		15,56		273,75				9,05	82,13	187,57	6,16	656,13
Totaal warmte	GWth				103,11		21,22		1506,67	215,45			2,06			2,62	1851,13
Energie materiaalrecup.	TJ	2004,24	1113,67	0	0	5451,29	0	0	9421,79	13620	3256,5	1598	47,64	3,6	0	66,082	36582,81
Energie verwerkt-aanbod	TJ	0	0	0	0	1362,82	0	670,783	838,212	0	0	68	0,52	0	0	23	2963,19
Energie gestorte fractie	TJ	0	0	0	0	495	0	0	0	0	0	0	0,52	0	0	0	495,52

¹ Berekend met omzettingsrendement van 90 kWh/ton GFT (Brinkmann, 2000). Met een energie-inhoud van GFT van 3,7 GJ/ton komt dit overeen met een rendement van 8,7 %.

² Berekend met een gemiddeld elektrisch en thermisch rendement van respectievelijk 11 en 15 % (Energiebalans 2007).

³ Berekend met elektrisch rendement coverbranding in steenkoolcentrale van 36,5 % (Tabel 26).

⁴ Berekend met rendement stookinstallatie van 90,4 % (Tabel 26).

⁵ Samenstelling met tussen haakjes massafractie t.o.v. totaal biologisch afval: frituurvetten (0,11%) + slib voedingsindustrie (0,37%) + ontkings-slib (0,52%) + textielslib (0,08%) + plantenschroot (0,06%). Van het deel van deze stromen dat verbrand wordt gaat 60 % naar afvalverbrandingsovens en 40 % naar steenkoolcentrales.

Tabel 24: Evolutie aantal toegekende groenestroomcertificaten (GSC)

	zonne-energie	windenergie op land	waterkracht	biogas-RWZI	biogas-stortgas	GFT-gas	overig biogas ¹	biomassa uit huishoudelijk restafval	biomassa gesorteerd of selectief ingezameld afval ²	biomassa uit land- of bosbouw ³	TOTAAL	Biologisch afval ¹	Aandeel biologisch afval
2002	5	44218	1678	1501	37506	9879	541		54714		150.042	104.141	69,41%
2003	82	58946	1863	1833	62191	9028	60896		96729		291.568	230.677	79,12%
2004	393	95044	1926	1965	74897	12916	122317	52464	184049		545.971	448.608	82,17%
2005	715	154446	2283	2620	77050	13177	141569	159505	304481	112443	968.289	698.402	72,13%
2006	1356	237756	2088	3472	83002	14753	88242	180495	424728	399135	1.435.027	794.692	55,38%
2007	5520	280051	2737	4342	69047	14907	151608	187214	412847	381095	1.509.368	839.965	55,65%

¹ Elektriciteitsproductie vergistingsinstallaties van mest en afvalwaterzuiveringsslib van bedrijven en vergassingsinstallaties van houtstof in steenkoolcentrales. Ongeveer 84 % van GSC door vergassing en bijstook in steenkoolcentrales (zie aannames).

² Elektriciteitsproductie bijstook biologisch afval in steenkoolcentrales, energetische valorisatie in WKK of elektriciteitscentrale op plantaardige afvalstoffen. Ongeveer 86 % van GSC door bijstook in steenkoolcentrales (zie aannames).

³ Elektriciteitsproductie op basis van biomassa uit land- of bosbouw dat niet beschouwd wordt als afval zoals palmolie of houtpellets.

Bron: VREG

Tabel 25: Elektriciteits- en warmteproductie, gemiddelde, minimale en maximale CO₂-reductie door energetische valorisatie van biologisch afval op basis van inventaris (situatie 2005). Vergelijking en aanvulling met gegevens VREG op basis van aantal toegekende GSC (Tabel 24)

Gemiddelde, minimale en maximale CO ₂ -reductie	Bron (Inventaris of VREG)	Energieproduct	Elektriciteits- of warmte- productie	Elektriciteits- of warmte- productie	Referentie min. CO ₂ -reductie ¹	Minimale CO ₂ -reductie ²	Referentie max. CO ₂ -reductie ¹	Maximale CO ₂ -reductie ²	Gemiddelde CO ₂ -reductie ³
			GWh	%	-	kton CO ₂	-	kton CO ₂	kton CO ₂
Biogas GFT	Inventaris	elek.	6,30	1,0%	gas	2,70	park	4,08	3,39
	VREG	elek.	13,18	2,1%	gas	5,64	park	8,54	7,09
Biogas RWZI	VREG	elek.	2,62	0,4%	gas	1,12	park	1,70	1,41
Biogas stortgas	VREG	elek.	77,05	12,5%	gas	32,98	park	49,93	41,46
Bijstook biologisch afval in steenkoolcentrale ⁴	Inventaris	elek.	555,22	84,6%	kolen	477,55	kolen	477,55	477,55
	VREG	elek.	366,00	59,2%	kolen	314,80	kolen	314,80	314,80
Org.-biol. fractie restafval	Inventaris	elek.	94,60	14,4%	gas	40,50	park	61,30	50,90
	VREG	elek.	159,51	25,8%	gas	68,28	park	103,36	85,82
Totaal elektriciteit	Inventaris	elek.	656,13	100,0%	-	520,74	-	542,93	531,8
Totaal elektriciteit	VREG	elek.	618,4	100,0%	-	422,8	-	478,3	450,6
Org.-biol. fractie restafval	Inventaris	warmte	129,01	7,0%	gas	33,33	olie	46,99	40,16
Stookinstallatie	Inventaris	warmte	1722,12	93,0%	gas	444,91	olie	627,26	536,09
Totaal warmte	Inventaris	warmte	1851,1	100,0%	gas	478,2	olie	674,2	576,2
Totaal elektriciteit en warmte	Inventaris	-	2507,3	100,0%	-	999,0	-	1217,2	1108,1
Totaal elektriciteit en warmte	VREG	-	2469,5	100,0%	-	901,1	-	1152,6	1026,8

¹ Gebruikte emissiefactoren (EF) en referentierendementen kunnen in Tabel 26 worden teruggevonden.

² CO₂-reductie [kton] = Energieproductie [GWh] · 3,6 [TJ/GWh] · EF [ton CO₂/GJ_{brandstof}] / referentierendement [GJ_{energie}/GJ_{brandstof}].

³ Het gemiddelde van de minimale en maximale CO₂-reductie.

⁴ Op basis van geaggregeerde data

(Vervolg)

Emissiereductie-strategie	Eenheid			Brandstofbenutting s- graad alternatieve technologie (G _{alt}) ¹		Brandstofbenutting s- graad referentie-technologie (G _{ref}) ¹		Gassubstitueerd equivalent brandstof (GE) ²		Emissiefactor (EF) ³	CO ₂ -reductie ⁴		CO ₂ -reductie ⁴		rang gemiddelde CO ₂ -reductie (per GJ brandstof per referentie E = referentie Q ⁵)									
	Ref. Q ¹⁰	Ref. E ¹⁰	Ait. ¹⁰	Min.	Max.	Min.	Max.	Gem.	Max.	Gem.	Gem.	Max.	Gem.	Max.	Gas (1-14)	Olie (1-18)	Gem. (1-41)	Kolen (1-20)						
				GJ _e of GJ _q /GJ _{alt.brandstof}		GJ _e of GJ _q /GJ _{ref.brandstof}		GJ _{ref.brandstof} /GJ _{alt.brandstof}		ton CO ₂ /GJ _{e,ref.}	ton CO ₂ /GJ _{alt.brandstof}		ton CO ₂ /ton _{alt.brandstof}											
9	Elektriciteits-productie in elektriciteits-centrales en warmte-productie met ketel op basis van fossiele brandstoffen-> warmtekrachtkoppeling met α = 0,57 en kracht/warmte verhouding E/Q = 0,63 op basis van hout (bio-WKK) ⁹	Gas	-	Hout	0,35	0,7	1	0,41	0,50	0,061	0,025	0,031	0,38	0,46	5	7	21	17	24	5	13	7		
		Olie	-			0,7	0,975	0,42	0,50	0,086	0,036	0,043	0,54	0,64										
		Q _{Pomp}	-			2,5	6	0,08	0,14	0,180	0,015	0,025	0,22	0,38										
		Q _{Res.}	-			1	1	0,35	0,35	0,180	0,063	0,063	0,95	0,95										
		Kolen	-		0,7	0,89	0,44	0,50	0,097	0,043	0,048	0,64	0,73											
		Gem.	-		-	-	-	-	-	0,030	0,037	0,46	0,55											
		-	Gas		Hout	0,22	0,5	0,525	0,43	0,44	0,061	0,026	0,027	0,39									0,40	
		Olie	0,37				0,442	0,54	0,59	0,086	0,046	0,051	0,69	0,76										
		Park	-				-	-	-	0,180	0,040	0,040	0,59	0,59										
		Kolen	0,37				0,442	0,54	0,59	0,097	0,052	0,058	0,79	0,86										
		-	Gem.		-	-	-	-	-	0,033	0,033	0,49	0,50											
		Gas	Gas		Hout	0,35 + 0,22	-	-	-	-	-	-	0,048	0,054									0,72	0,81
		Olie	Olie				-	-	-	-	-	0,079	0,090	1,18									1,35	
Gas	Gem.	-	-	-			-	-	0,055	0,060	0,82	0,91												
Olie	Gem.	-	-	-			-	-	0,065	0,073	0,98	1,09												
Q _{Pomp}	Gem.	-	-	-			-	-	0,044	0,055	0,67	0,83												
Q _{Res.}	Gem.	-	-	-			-	-	0,099	0,099	1,49	1,49												
Kolen	Gem.	-	-	-			-	-	0,072	0,078	1,08	1,17												
Kolen	Kolen	-	-	-			-	-	0,092	0,103	1,38	1,54												
Gem.	Gem.	Hout	-	-	-	-	-	0,060	0,067	0,90	1,00	6												
10	Elektriciteits-productie in elektriciteits-centrales en warmte-productie met ketel op basis van fossiele brandstoffen-> warmtekrachtkoppeling met α = 0,75 en kracht/warmte verhouding E/Q = 0,5 op basis van hout (bio-WKK) ⁹	Gas	-	Hout	0,5	0,7	1	0,59	0,71	0,061	0,036	0,044	0,54	0,65	3	2	14	9	20	2	6	2		
		Olie	-			0,7	0,975	0,60	0,71	0,086	0,051	0,061	0,77	0,92										
		Q _{Pomp}	-			2,5	6	0,12	0,20	0,180	0,021	0,036	0,32	0,54										
		Q _{Res.}	-			1	1	0,50	0,50	0,180	0,090	0,090	1,35	1,35										
		Kolen	-		0,7	0,89	0,63	0,71	0,097	0,061	0,069	0,91	1,04											
		Gem.	-		-	-	-	-	-	0,043	0,052	0,65	0,78											
		-	Gas		Hout	0,25	0,5	0,525	0,49	0,50	0,061	0,030	0,031	0,45									0,46	
		Olie	0,37				0,442	0,62	0,68	0,086	0,053	0,058	0,79	0,87										
		Park	-				-	-	-	0,180	0,045	0,045	0,68	0,68										
		Kolen	0,37				0,442	0,62	0,68	0,097	0,060	0,065	0,89	0,98										
		-	Gem.		-	-	-	-	-	0,037	0,038	0,56	0,57											
		Gas	Gas		Hout	0,5 + 0,25	-	-	-	-	-	-	0,062	0,071									0,93	1,06
		Olie	Olie				-	-	-	-	-	0,100	0,116	1,51									1,73	
Gas	Gem.	-	-	-			-	-	0,070	0,078	1,05	1,17												
Olie	Gem.	-	-	-			-	-	0,085	0,096	1,28	1,43												
Q _{Pomp}	Gem.	-	-	-			-	-	0,055	0,070	0,83	1,06												
Q _{Res.}	Gem.	-	-	-			-	-	0,132	0,132	1,98	1,98												
Kolen	Gem.	-	-	-			-	-	0,095	0,104	1,42	1,55												
Kolen	Kolen	-	-	-			-	-	0,117	0,131	1,76	1,97												
Gem.	Gem.	Hout	-	-	-	-	-	0,078	0,087	1,16	1,30	3												
11	WKK op fossiele brandstoffen-> bio-WKK ⁹	Gas	Gas	Hout	0,35 + 0,22	0,6 + 0,35	0,61	0,74	0,061	0,034	0,042	0,50	0,63	10	12	13	9							
		Olie	Olie	E/Q=0,62	0,35 + 0,22	0,45 + 0,4	0,63	0,80	0,086	0,051	0,065	0,76	0,98											
		Kolen	Kolen	0,62	0,35 + 0,22	0,6 + 0,3	0,66	0,81	0,097	0,060	0,075	0,90	1,13											
		Gas	Gas	Hout	0,5 + 0,25	0,6 + 0,35	0,77	0,96	0,061	0,044	0,055	0,66	0,83											
Olie	Olie	E/Q=0,5	0,5 + 0,25	0,45 + 0,4	0,80	1,02	0,086	0,065	0,084	0,97	1,25	8	10	9										
Kolen	Kolen	0,5	0,5 + 0,25	0,6 + 0,3	0,83	1,03	0,097	0,077	0,096	1,16	1,44													

(Vervolg)

Emissiereductie-strategie	Eenheid			Brandstofbenutting s- graad alternatieve technologie (α_{alt}) ¹		Brandstofbenutting s- graad referentie-technologie (α_{ref}) ¹		Gesubsitueerd equivalent brandstof (GE) ²		Emissiefactor (EF) ³	CO ₂ -reductie ⁴		CO ₂ -reductie ⁴		rang gemiddelde CO ₂ -reductie (per GJ brandstof) per referentie F = referentie Q ⁵				
	Ref. Q ¹⁰	Ref. E ¹⁰	Alt. ¹⁰	GJ _e of GJ _q /GJ _{alt.brandstof}		GJ _e of GJ _q /GJ _{ref.brandstof}		GJ _{ref.brandstof} /GJ _{alt.brandstof}		ton CO ₂ /GJ _{ref.}	ton CO ₂ /GJ _{alt.brandstof}		ton CO ₂ /ton _{alt.brandstof}		Gas (1-14)	Olie (1-18)	Gem. (1-41)	Kolen (1-20)	
				Min.	Max.	Min.	Max.	Gem.	Max.	Gem.	Gem.	Max.	Gem.	Max.					
12	Elektriciteits-productie in elektriciteits-centrales en warmte-productie met ketel op basis van fossiele brandstoffen-> WKK met fossiele brandstoffen ⁹	Gas	-	Gas	0,6	0,7	1	0,71	0,86	0,061	0,013	0,022	0,68	1,18					
		Olie	-	Olie	0,45	0,7	0,975	0,54	0,64	0,086	0,003	0,012	0,14	0,54					
		Kolen	-	Kolen	0,6	0,7	0,89	0,75	0,86	0,097	0,025	0,035	0,67	0,93					
		-	Gas	Gas	0,35	0,5	0,525	0,68	0,70	0,061	0,011	0,012	0,60	0,66					
		Olie	Olie	Olie	0,4	0,37	0,442	0,99	1,08	0,086	0,041	0,050	1,83	2,19					
		Kolen	Kolen	Kolen	0,3	0,37	0,442	0,74	0,81	0,097	0,023	0,030	0,62	0,81					
13	Kachel op andere fossiele brandstof ⁶	Gas	-	Gas	0,6 + 0,35	-	-	1,39	1,56	0,061	0,024	0,034	1,28	1,84	12	14			
		Olie	Olie	Olie	0,45 + 0,4	-	-	1,52	1,72	0,086	0,045	0,062	1,97	2,72					
		Kolen	Kolen	Kolen	0,6 + 0,3	-	-	1,49	1,67	0,097	0,048	0,065	1,29	1,75				15	
		Olie	-	Gas	0,7	0,9	0,7	0,8	1,07	1,29	0,086	0,030	0,049	1,63	2,64		16	32	
		Kolen	-	Gas	0,7	0,9	0,7	0,8	1,07	1,29	0,097	0,042	0,063	2,28	3,43			27	17
		Park Kolen	-	Gas	0,7	0,9	1	1	0,80	0,90	0,180	0,083	0,101	4,49	5,46			11	
14	Ketel op andere fossiele brandstof ⁶	Q _{Res.}	-	Olie	0,7	0,8	0,7	0,8	1,00	1,14	0,097	0,011	0,025	0,50	1,11			39	20
		Q _{Res.}	-	Olie	0,7	0,8	1	1	0,75	0,80	0,180	0,050	0,059	2,18	2,58			22	
		Q _{Res.}	-	Kolen	0,7	0,8	1	1	0,75	0,80	0,180	0,038	0,047	1,03	1,28			29	
		Olie	Gas	Gas	0,7	1	0,7	0,975	1,01	1,43	0,086	0,026	0,061	1,39	3,30		17	33	
		Kolen	Gas	Gas	0,7	1	0,7	0,89	1,07	1,43	0,097	0,042	0,077	2,29	4,17			26	16
		Q _{Res.}	-	Gas	0,7	1	1	1	0,85	1,00	0,180	0,092	0,119	4,97	6,43			7	
15	Kachel op fossiele brandstof-> warmtepomp ⁶	Kolen	-	Olie	0,7	0,975	0,7	0,89	1,05	1,39	0,097	0,016	0,049	0,72	2,17			36	18
		Q _{Res.}	-	Olie	0,7	0,975	1	1	0,84	0,98	0,180	0,065	0,090	2,88	3,96			16	
		Q _{Res.}	-	Kolen	0,7	0,89	1	1	0,80	0,89	0,180	0,046	0,063	1,25	1,71			23	
		Gas	Gas	Gas	2,5	6	0,7	0,9	5,31	8,57	0,061	0,105	0,207	5,67	11,18	1			
16	Ketel op fossiele brandstof-> warmtepomp ⁶	Olie	Olie	Q _{pomp}	2,5	6	0,7	0,975	5,07	8,57	0,086	0,091	0,212	3,99	9,33		3		
		Kolen	Kolen	Q _{pomp}	2,5	6	0,7	0,89	5,35	8,57	0,097	0,113	0,240	3,06	6,48				3
		Q _{pomp}	2,5	6	0,7	0,8	5,67	8,57	0,097	0,126	0,240	3,40	6,48						
17	Electriciteit met andere fossiele brandstof ⁷	Olie	Gas	Gas	0,5	0,525	0,37	0,442	1,26	1,42	0,086	0,047	0,060	2,53	3,26		13		
		-	Kolen	Gas	0,5	0,525	0,37	0,442	1,26	1,42	0,097	0,061	0,076	3,30	4,12				12
		Kolen	Olie	Gas	0,37	0,442	0,37	0,442	1,00	1,19	0,097	0,011	0,030	0,31	0,81				20

¹ De brandstofbenuttingsgraad van een installatie (α) is gelijk aan de geproduceerde thermische (GJ_q) of elektrische (GJ_e) energie gedeeld door de energie-inhoud van de vereiste brandstof. α is dus gelijk aan het rendement, behalve voor WKK. Bij WKK worden gelijktijdig elektriciteit en warmte opgewekt. Deze twee energievormen zijn niet equivalent en de som van het thermisch en elektrisch rendement komt bijgevolg niet overeen met het thermodynamisch rendement.

² Het gesubstitueerd equivalent brandstof (GE) is gelijk aan α van de alternatieve technologie gedeeld door α van de referentietechnologie. GE geeft aan hoeveel meer of minder brandstof vereist is met de referentietechnologie ten opzichte van de alternatieve technologie om éézelfde hoeveelheid nuttige warmte of elektriciteit te produceren. Bij WKK is GE gelijk aan de som van GE voor opwekking van warmte en GE voor opwekking van elektriciteit. Wanneer zowel de referentie als het alternatief WKK zijn, wordt GE berekend als de verhouding van GE voor het alternatief en GE voor de referentie, beide berekend ten opzichte van dezelfde referentie voor gescheiden opwekking van elektriciteit en warmte.

³ Emissiefactoren (EF):

Energiedrager	Eenheid	Winning & transport		Energetisch gebruik **		Totaal EF
		Min.	Max.	Min.	Max.	
Aardgas *	ton CO ₂ /GJ _{fossiel}	0,0085		0,05	0,055	0,061
Stookolie *	ton CO ₂ /GJ _{fossiel}	0,016		0,069	0,07	0,086
Steenkool *	ton CO ₂ /GJ _{fossiel}	0,0063		0,088	0,093	0,097
Hout ***	ton CO ₂ /GJ _{hout}	0,001	0,006	0	0	0,003
Electriciteit	ton CO ₂ /GJ _e	-	-	-	-	0,180

Theunis J. et al. (2003) Energetische valorisatie van hoogcalorische afvalstromen in Vlaanderen. Deel 1: Scenariostudie – Eindrapport, VITO.

** Goldthorphe S., Tricks and Traps in CO2 Emission Impact Assessment. NZAIA. <http://www.nzaia.org.nz>

*** Warmtevraag gemiddelde woning 15750 kWh/jaar of 63 GJ hout/jaar met rendement ketel van 0,9. De CO₂-uitstoot voor transport (50 km) en productie van houtsnippers en pellets is respectievelijk 0,265 en 0,389 ton CO₂/jaar voor de gemiddelde woning. Voor brandhout is er enkel CO₂-emissie door transport van 0,029 ton CO₂/jaar voor de gemiddelde woning. Rekening houdend met het houtverbruik geeft dit een bereik van 0,00046 tot 0,006175 ton CO₂/GJ hout (Hoffmann E. et al., Machbarkeitsstudie für neue Umweltzeichen für die Produktgruppe: Holzpelletfeuerungen. Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) gGmbH – Im Auftrag des Umweltbundesamtes – Berlin, Januari 2003).

⁴ Berekening CO₂-reductie:

Emissiereductiestrategie	Alt. brandstof	CO ₂ -reductie (ton CO ₂ /GJ _{alt.brandstof})
1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11	hout	$EF_{ref.brandstof} * GE - EF_{hout}$
12	fossiel	$EF_{ref.brandstof} * (GE-1)$
13,14,17	fossiel	$EF_{ref.brandstof} * GE - EF_{alt.brandstof}$
15,16	fossiel	$EF_{ref.brandstof} * GE * \alpha_{elektrisch.ref.brandstof} - EF_{alt.brandstof}$

- CO₂-reductie per ton alternatieve brandstof wordt bekomen door te vermenigvuldigen met de energie-inhoud (GJ/ton) van de brandstof. Deze is gelijk aan 15, 54, 44 and 27 GJ/ton voor respectievelijk hout, aardgas, olie en steenkool.

- Voor de referentie gemiddeld werd bij warmteproductie het gemiddelde genomen van de referentie aardgas en de referentie stookolie. Voor elektriciteitsproductie werd het gemiddelde genomen van de referentie gemiddeld park en de referentie gascentrale.

- Wanneer houtafval in de WKK installatie wordt verwerkt is de totale vermeden CO₂-uitstoot gelijk aan de som van GE van warmtezijde vermenigvuldigd met de emissiefactor van de referentie voor warmteproductie en GE van elektriciteitszijde vermenigvuldigd met de emissiefactor van de referentie voor elektriciteitsproductie.

⁵ Enkel voor het gemiddelde van het Belgische elektriciteitspark en een gascentrale als referentie is bij WKK de CO₂-reductie voor de verschillende mogelijkheden voor gescheiden opwekking van warmte berekend. Dat laat toe om installaties voor warmteproductie met verschillende brandstoffen met het overeenkomstig geval met WKK te vergelijken. Bij andere referenties werd enkel de rang bepaald van die opties waarbij de referentiebrandstof zowel voor warmteproductie als elektriciteitsproductie dezelfde is.

⁶ Gegevens Dutry (Marchand P., De warmte-accumulerende houtkachels van Tulikivi: een ecologische opportuniteit in Vlaanderen. Eco-Logic Unlimited CVBA – in opdracht van Dutry & co NV, 2007), VIBE (Van Leemput S. et al., Verwarmen en warm water bereiden. Vlaams instituut voor bio-ecologisch bouwen en wonen (VIBE), 2007), ODE (Warmtepompen voor woningverwarming, Organisatie voor duurzame energie Vlaanderen (ODE), 2007). Bij ketels is geen rekening gehouden met warmteverliezen tijdens transport van warmte naar woonruimte. Deze verliezen bedragen typisch 20 tot 35 % en zijn onafhankelijk van de gebruikte brandstof in de ketel. Bij het vervangen van stookinstallaties op fossiele brandstoffen door een warmtepomp is ervan uitgegaan dat de vereiste elektriciteit voor de warmtepomp met dezelfde brandstof wordt opgewekt als de referentie voor warmteproductie zodat een CO₂-reductie per GJ brandstof wordt bekomen (en niet per GJ elektriciteit).

⁷ Gegevens Vito (Devriendt N. & Vanderstraeten P., Studie optimale energetische valorisatie van houtafval – Eindrapport. VITO, 2003). Maximale referentierendementen overgenomen van Ministerieel besluit van de Vlaamse overheid van 6/10/2006 (Vlaamse Overheid 10 oktober 2006 – Ministerieel besluit inzake de vastlegging van referentierendementen voor toepassing van de voorwaarden voor kwalitatieve warmtekrachtinstallaties). Er werd geen rekening gehouden met transportverliezen van elektriciteit.

⁸ Gegevens Vito (Theunis J. et al. (2003) Energetische valorisatie van hoogcalorische afvalstromen in Vlaanderen. Deel 1: Scenariostudie – Eindrapport, VITO). Maximale referentierendementen overgenomen van Ministerieel besluit van de Vlaamse overheid van 6/10/2006 (Vlaamse Overheid 10 oktober 2006 – Ministerieel besluit inzake de vastlegging van referentierendementen voor toepassing van de voorwaarden voor kwalitatieve warmtekrachtinstallaties). Er werd geen rekening gehouden met transportverliezen van elektriciteit.

⁹ Gegevens Vito ($\alpha=0,75$ en $E/Q=0,25$) (Devriendt N. & Vanderstraeten P., Studie optimale energetische valorisatie van houtafval – Eindrapport. VITO, 2003), fabrikanten ($\alpha=0,75$ en $E/Q=0,5$; Xylowatt SA (<http://www.xylowatt.com/>), Biomass CHP Limited (<http://www.biomass-chp.ltd.uk/>) en organisaties (US EPA (Biomass combined heat and power – Catalog of technologies. US Environmental Protection Agency combined heat and power partnership (US EPA), 2007), European Bio-CHP (Evald A. et al., Biomass CHP best practice guide – Performance comparison and recommendations for future CHP systems utilizing biomass fuels. European biomass CHP, 2006). Maximale referentierendementen overgenomen van Ministerieel besluit van de Vlaamse overheid van 6/10/2006 (Vlaamse Overheid 10 oktober 2006 – Ministerieel besluit inzake de vastlegging van referentierendementen voor toepassing van de voorwaarden voor kwalitatieve warmtekrachtinstallaties). Er werd geen rekening gehouden met transportverliezen van elektriciteit.

¹⁰ Vijf verschillende referenties voor warmteproductie werden onderzocht: aardgas in kachel of ketel (gas), stookolie in kachel of ketel (olie), elektrisch aangedreven warmtepomp (Q_{pomp}), elektrische weerstandsverwarming (Q_{Res}) en steenkool in kachel of ketel (kolen). Vier verschillende referenties voor elektriciteitsproductie werden onderzocht: STEG-centrale (gas), oliecentrale (olie), gemiddelde Belgische elektriciteitspark zonder kerncentrales (park) en steenkoolcentrale (kolen). Voor de referentie gemiddeld werd bij warmteproductie het gemiddelde genomen van de referentie aardgas en de referentie stookolie. Voor elektriciteitsproductie werd het gemiddelde genomen van de referentie gemiddeld park en de referentie gascentrale.

Tabel 27: CO₂-emissies per kWh elektriciteit voor verschillende opties van elektriciteitsproductie

Optie elektriciteitsproductie		Rendement ¹			Emissie-factor brandstof ¹	CO ₂ -emissie ²	
		GJ elektriciteit/GJ brandstof			ton CO ₂ /GJ brandstof	ton CO ₂ /MWh elektriciteit	
		Min.	Max.	Gem.	Gem.	per brandstof	Totaal
Steenkoolcentrale	100 % steenkool	0,37	0,44	0,41	0,097	0,860	0,860
	90 % steenkool	0,37	0,44	0,41	0,097	0,860	0,777
	10 % houtafval	0,35	0,38	0,37	0,003	0,030	
	70 % steenkool	0,37	0,44	0,41	0,097	0,860	0,611
	30 % houtafval	0,35	0,38	0,37	0,003	0,030	
STEG	100 % aardgas	0,5	0,53	0,51	0,061	0,428	0,428
	70 % aardgas	0,5	0,53	0,51	0,061	0,428	0,307
	30 % houtgas	0,41	0,45	0,43	0,003	0,025	
Electriciteitscentrale op houtafval		0,25	0,33	0,29	0,003	0,037	0,037
WKK op hout ($\alpha = 0,75$; $E/Q = 0,5$; $T=150^{\circ}\text{C}$) ³		0,25	0,25	0,25	0,003	0,027	0,027

¹ zie Tabel 26 en uitleg

² CO₂-emissie = emissiefactor/rendement*3,6 GJ/MWh. Bij fractie X bijstook is totale CO₂-emissie gelijk aan X*CO₂-emissie houtafval + (1-X)*CO₂-emissie steenkool

³ CO₂-emissie = emissiefactor/(rendement elektriciteit+rendement warmte*(1-293/T))*3,6 met T de temperatuur van de geleverde warmte in Kelvin (Commissie Ampère, 2000)

¹ Categorieën overgenomen van (Tilburg, 2007) en aangevuld voor windenergie (Moorkens, 2005)

² Berekend met rekenmodel (Moorkens, 2005) en inputdata uit Tabel 2 t.e.m. Tabel 21.

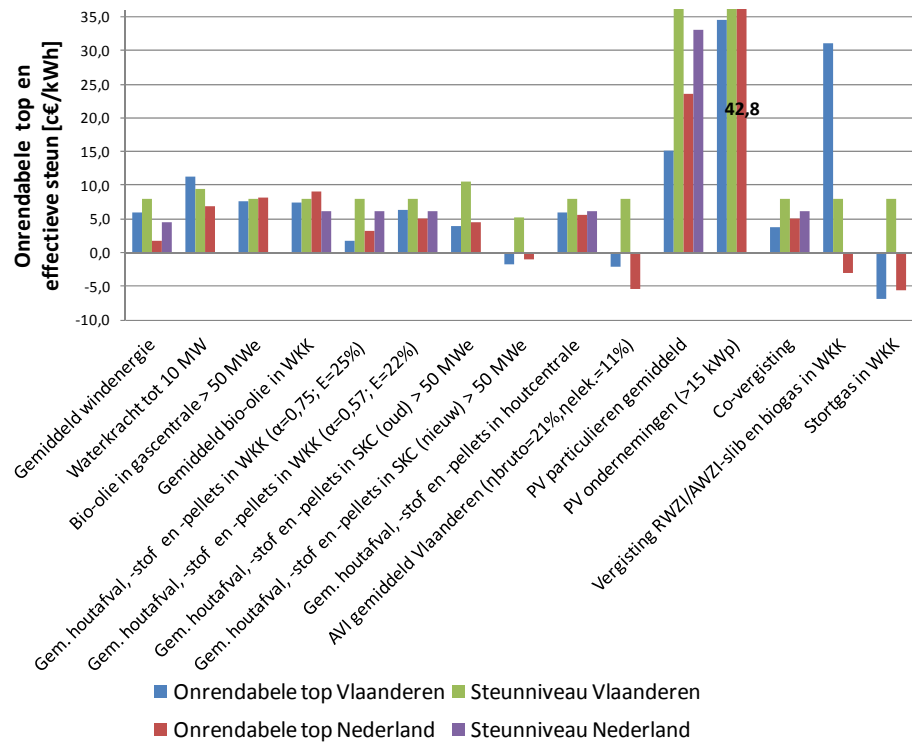
³ Basisbedragen uit "Regeling aanwijzing categorieën duurzame energieproductie 2008". Correcties uit "Regeling vaststelling correcties voorschotverlening duurzame energieproductie 2008". Elektriciteitsprijzen uit Tabel 21.

⁴ Bedragen effectieve steun Vlaanderen 2008 uit Groenestroomdecreet. Voor bijstook in oude en nieuwe steenkoolcentrales werd respectievelijk de marktwaarde en de helft van de marktwaarde van GSC in 2008 genomen. Bedragen effectieve steun Nederland uit "Regeling aanwijzing categorieën duurzame energieproductie 2008"

Tabel 29: Gemiddelde onrendabele top en effectief steunniveau in 2008 per technologie op basis van Tabel 28

Technologie	Gecorrigeerde onrendabele top (GOT=OT-C), effectief steunniveau (ES=effectieve steun GSC (VL), ES=B-C (NL)) en verschil tussen beide (ES-GOT)					
	Vlaanderen			Nederland		
	GOT	ES	ES-GOT	GOT	ES	ES-GOT
	[c€/kWh]	[c€/kWh]	[c€/kWh]	[c€/kWh]	[c€/kWh]	[c€/kWh]
Gemiddeld windenergie	6,0	8,0	2,0	1,7	4,5	2,8
Waterkracht tot 10 MW	11,3	9,5	-1,8	6,9	0,0	-6,9
Bio-olie in gascentrale > 50 MWe	7,6	8,0	2,9	8,1	0,0	-8,1
Gemiddeld bio-olie in WKK	7,4	8,0	0,6	9,0	6,2	-2,8
Gem. houtafval, -stof en -pellets in WKK ($\alpha=0,75$; $E=25\%$)	1,8	8,0	6,2	3,3	6,2	2,9
Gem. houtafval, -stof en -pellets in WKK ($\alpha=0,57$; $E=22\%$)	6,2	8,0	1,8	5,0	6,2	1,2
Gem. houtafval, -stof en -pellets in SKC (oud) > 50 MWe	4,0	10,5	6,5	4,5	0,0	-4,5
Gem. houtafval, -stof en -pellets in SKC (nieuw) > 50 MWe	-1,7	5,3	7,0	-1,1	0,0	1,1
Gem. houtafval, -stof en -pellets in houtcentrale	6,0	8,0	2,0	5,5	6,2	0,7
AVI gemiddeld Vlaanderen ($\eta_{bruto}=21\%$, $\eta_{elek.}=11\%$)	-2,1	8,0	10,1	-5,5	0,0	5,5
PV particulieren gemiddeld	15,2	45,0	29,8	23,5	33,0	9,5
PV ondernemingen (>15 kWp)	34,5	45,0	10,5	42,8	0,0	-42,8
Co-vergisting	3,7	8,0	4,3	5,0	6,2	1,2
Vergisting RWZI/AWZI-slib en biogas in WKK	31,0	8,0	-23,0	-3,0	0,0	3,0
Stortgas in WKK	-7,0	8,0	15,0	-5,7	0,0	5,7
Gemiddeld ES-OT alle technologieën			6,0			0,3
Standaarddeviatie ES-OT alle technologieën			8,5			8,6

Figuur 29: Verschil onrendabele top en minimumsteun GSC voor verschillende technologieën voor productie groene stroom voor Vlaanderen en Nederland (situatie 2008)



Bron: berekeningen KULeuven (Tabel 29)

Tabel 30: Vermogen bijstook per afvalstroom en steenkoolcentrale

	Eenheid	Ruien	Langerlo	Rodenhuize	Mol	Totaal	%
Houtstof	MW	14,4	28,0			42,4	28,2%
Houtpellets	MW			66,0		66,0	43,9%
Koffiedik	MW		10,0		5,0	15,0	10,0%
Olijfpitten	MW	12,0		9,0	6,0	27,0	18,0%
						150,4	100,0%

Bron: (VREG, 2007)

Tabel 31: Samenstelling grondstoffen diverse plaatmaterialen

	Eenheid	Rondhout		Houtstof		Houtsnippers		Afvalhout		Totaal
Spaanplaat	ton atro	202	16%	212	17%	333	27%	492	40%	1239
Medium density fibreboard (MDF)	ton atro	140	40%	0	0%	210	60%	0	0%	350
Oriented strand board (OSB)	ton atro	225	100%	0	0%	0	0%	0	0%	225
Totaal	ton atro	567	31%	212	12%	543	30%	492	27%	1814

Bron: Van Acker J. (2008), A European wood processing strategy; country reports - COST Action E44 June 2004 – June 2008, UGent, Gent

Tabel 32: Gemiddelde CO₂-reductie door recyclage van behandeld niet-verontreinigd houtafval tot spaanplaten voor verschillende referentiematerialen ten opzichte van energetische valorisatie in een stookinstallatie of kachel. De CO₂-reductie werd berekend voor 2 horizons: 20 en 100 jaar en voor twee typische levensduurtes: 20 jaar voor meubels en andere gebruiksgoederen en 40 jaar voor toepassingen als constructiemateriaal.

Optie materiaal- recuperatie houtafval	Eenheid	Dichtheid	CO ₂ -uitsfoot recyclage ¹		CO ₂ -uitsfoot productie referentie- materiaal ¹			Horizon 20 jaar						Horizon 100 jaar							
			ton/ m ³	ton CO ₂ /ton hout		ton CO ₂ / ton hout	ton CO ₂ /ton referentie- materiaal		ton CO ₂ / ton ref.	Gemiddelde CO ₂ -reductie (levensduur 20 jaar) ²			Gemiddelde CO ₂ -reductie (levensduur 40 jaar) ²			Gemiddelde CO ₂ -reductie (levensduur 20 jaar) ²			Gemiddelde CO ₂ -reductie (levensduur 40 jaar) ²		
				Gem.	Min.		Max.	Gem.		Min.	Max.	Gem.	Ketel (olie)	Kachel (gas)	Gem.	Ketel (olie)	Kachel (gas)	Gem.	Ketel (olie)	Kachel (gas)	Gem.
Spaanplaat (600 kg/m ³) als constructie- materiaal of voor meubel- productie	Gipsplaat	0,8	0,14	0,4	0,27	0,36	1,1	0,73	0,44	0,87	0,66	0,83	1,33	1,08	0,27	0,40	0,34	0,25	0,44	0,35	
	Baksteen	2,4				0,33	0,33	0,10	0,53	0,32	0,49	0,99	0,74	0,01	0,13	0,07	-0,02	0,17	0,08		
	Stortbeton	2,4				0,11	0,17	0,14	-0,07	0,37	0,15	0,33	0,83	0,58	-0,11	0,01	-0,05	-0,14	0,05	-0,05	
	Staalplaat	7,85				0,71	1,15	0,93	0,61	1,04	0,83	1,00	1,50	1,25	0,41	0,53	0,47	0,38	0,57	0,48	
	Spaanplaat ³	0,65				0,14	0,55	0,34	-1,07	-0,51	-0,79	-1,07	-0,51	-0,79	-0,82	-0,39	-0,61	-0,82	-0,39	-0,61	
	OSB	0,65				0,45	0,45	-0,98	-0,42	-0,70	-0,98	-0,42	-0,70	-0,75	-0,32	-0,54	-0,75	-0,32	-0,54		
	Rondhout	0,5				0,05	0,18	0,12	-1,26	-0,70	-0,98	-1,26	-0,70	-0,98	-0,97	-0,54	-0,76	-0,97	-0,54	-0,76	
Multiplex	0,5	0,11	0,65	0,38	-1,04	-0,48	-0,76	-1,04	-0,48	-0,76	-0,80	-0,37	-0,59	-0,80	-0,37	-0,59					

¹ Gegevens RTS (RTS Building Information Foundation, Finland, Environmental Reporting for Building Materials, 1998 – 2001. http://www.rts.fi/ymparistoseloste/valid_declarations.htm), BRE (BRE Environmental Profiles database. <http://cig.bre.co.uk/envprofiles/document.jsp>), CE ^(Bergsma G. et al.). De netto CO₂-emissie van hergebruik en energieproductie uit afval vergeleken – Case studie voor afvalhout, mest, kunststof en papier, 2001, CE Delft en Puettmann et al., Life-cycle analysis of wood products: cradle-to-gate LCI of residential wood building materials, Wood and fiber science (2008), volume 37 Corrim special issue.

² Berekend met vermeden emissies voor stookinstallatie met stookolie als referentiebrandstof (1,33 ton CO₂/ton houtafval, Tabel 26) en voor een kachel met aardgas als referentiebrandstof (0,67 ton CO₂/ton hout, Tabel 26).

³ Import vanuit het buitenland. Bij de maximale emissies zijn de CO₂-emissies bijgeteld voor transport over een afstand van 1500 km. Met 0,0097 ton CO₂/ton houtafval. 100km (den Boer, 2008) geeft dit een extra CO₂-uitstoot van 0,15 ton CO₂/ton houtafval.

Tabel 33: Verschil van CO₂-emissies productie referentiemateriaal en recyclageproduct waarbij de CO₂-reductie door recyclage gelijk is aan de CO₂-reductie door energetische valorisatie van een biologisch materiaal

Referentiemateriaal	Horizon 20 jaar						Horizon 100 jaar					
	levensduur 20 jaar			levensduur 40 jaar			levensduur 20 jaar			levensduur 40 jaar		
	Ketel (olie)	Kachel (gas)	Gem.	Ketel (olie)	Kachel (gas)	Gem.	Ketel (olie)	Kachel (gas)	Gem.	Ketel (olie)	Kachel (gas)	Gem.
Biologisch	1,33	0,67	1,00	1,33	0,67	1,00	1,33	0,67	1,00	1,33	0,67	1,00
Niet-biologisch	-0,05	-0,56	-0,31	-0,51	-1,10	-0,81	0,04	-0,14	-0,05	0,08	-0,20	-0,06

Berekend met vermeden emissies voor stookinstallatie met stookolie als referentiebrandstof (1,33 ton CO₂/ton houtafval, Tabel 26) en voor een kachel met aardgas als referentiebrandstof (0,67 ton CO₂/ton hout, Tabel 26)

Tabel 34: Gemiddelde emissiereductie door materiaalsubstitutie berekend op basis van reële emissies (Tabel 34 en Tabel 35) in de veronderstelling dat 1 ton hout equivalent is met 1 ton van een referentiemateriaal (RTS Building Information Foundation, Finland, Environmental Reporting for Building Materials, 1998-2001, http://www.rts.fi/ymparistoseloste/valid_declarations.htm)

Optie materiaal- recuperatie houtafval	Eenheid	Dicht- heid	Gemiddelde emissiereductie door materiaalsubstitutie									
		kg/m ³	ton CO ₂ /ton hout	kg CO /ton hout	kg SO ₂ /ton hout	kg NO _x /ton hout	kg CH ₄ /ton hout	kg N ₂ O /ton hout	kg NM VOC ¹ /ton hout	kg PM ₁₀ ² /ton hout	g ZM ³ /ton hout	kg stof /ton hout
		Gem.	Gem.	Gem.	Gem.	Gem.	Gem.	Gem.	Gem.	Gem.	Gem.	Gem.
Spaanplaat (600 kg/m ³) als constructie-materiaal of voor meubel-productie	Gipsplaat	800	0,46	-3,35	0,4	2,4	0,26	-0,02	-0,4	n.g.	-0,93	0,342
	Stortbeton	2400	-0,13	-3,63	-1,03	-1,9	-0,48	0,051	-0,55	-0,2	-0,92	n.g.
	Staalplaat	7850	0,66	4,90	1,55	-1,58	0,26	-0,01	14,45	n.g.	0,59	2,122
	Baksteen ⁴	2400	0,06	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
	OSB	650	0,18	-0,95	3,65	0,04	0,34	n.g.	1,08	0,17	n.g.	n.g.
	Rondhout	400	-0,21	-2,40	0	-1,52	-0,53	-0,02	-0,37	-0,56	-0,78	n.g.
Triplex	540	0,18	-1,80	0,475	0,15	1,065	0,071	-0,15	0,67	-0,61	0,147	

¹ NMVOC = Niet-methaan vluchtige organische stoffen

² PM₁₀ = particulate matter

³ ZM = zware metalen (Hg, Cd, Cr, Cu, Pb, Ni, V, Zn)

⁴ Gegevens BRE (BRE Environmental Profiles database. <http://cig.bre.co.uk/envprofiles/document.jsp>)

n.g. = niet gedetermineerd

Tabel 35: Range reële luchtmissies voor recyclage en productie nieuw materiaal (RTS Building Information Foundation, Finland, Environmental Reporting for Building Materials, 1998-2001, http://www.rts.fi/ymparistoseloste/valid_declarations.htm) (Deel 1)

Optie materiaal- recuperatie houtafval	Eenheid	Dichtheid	CO ₂ -uitstoot recyclage ¹	CO ₂ -uitstoot productie referentie- materiaal ¹		CO-uitstoot recyclage ¹	CO-uitstoot productie referentie- materiaal ¹		SO ₂ -uitstoot recyclage ¹	SO ₂ -uitstoot productie referentie- materiaal ¹		NO _x -uitstoot recyclage ¹	NO _x -uitstoot productie referentie- materiaal ¹		Uitstoot CH ₄ recyclage ¹	Uitstoot CH ₄ referentie- materiaal ¹	
		kg/m ³	ton CO ₂ /ton hout	ton CO ₂ /ton referentie- materiaal		kg CO /ton hout	kg CO/ton referentie- materiaal		kg SO ₂ /ton hout	kg SO ₂ /ton referentie- materiaal		ton NO _x /ton hout	kg NO _x /ton referentie- materiaal		ton CH ₄ / ton hout	kg CH ₄ /ton referentie- materiaal	
		Referentie- materiaal	Gem.	Gem.	Min.	Max.	Gem.	Min.	Max.	Gem.	Min.	Max.	Gem.	Min.	Max.	Gem.	Min.
Spaanplaat (600 kg/m ³) als constructie- materiaal of voor meubel- productie	Gipsplaat	800		0,36	1,1		0,35			1,5			4,7			1	
	Stortbeton	2400		0,11	0,17		0,05	0,085		0,064	0,086		0,32	0,48		0,21	0,32
	Staalplaat	7850		0,71	1,15		7,7	9,5		1,8	3,5		0,048	1,4		0,8	1,2
	Baksteen	2400	0,27	0,33		3,7	-		1,1	-		2,3	-		0,74	-	
	OSB	650		0,45			2,75			4,75			2,34			1,08	
	Rondhout	400		0,065			1,3			1,1			0,78			0,21	
	Triplex	540		0,25	0,65		1,3	2,5		0,45	2,7		1,5	3,4		0,91	2,7

Tabel 36: Range reële luchtmissies voor recyclage en productie nieuw materiaal (RTS Building Information Foundation, Finland, Environmental Reporting for Building Materials, 1998-2001, http://www.rts.fi/ymparistoseloste/valid_declarations.htm) (Deel 2)

Optie materiaal- recuperatie houtafval	Eenheid	Dichtheid	N ₂ O-uitstoot recyclage ¹	N ₂ O-uitstoot productie referentie- materiaal ¹		NMVOOC recyclage ¹	NMVOC productie referentie- materiaal ¹		Uitstoot PM ₁₀ recyclage ¹	Uitstoot PM ₁₀ productie referentie- materiaal ¹		Uitstoot ZM recyclage ¹	Uitstoot ZM productie referentie- materiaal ¹		Uitstoot stof recyclage ¹	Uitstoot stof productie referentie- materiaal ¹	
		kg/m ³	kg N ₂ O/ ton hout	kg N ₂ O/ton referentie- materiaal		kg NM VOC /ton	kg NMVOC/ton referentie- materiaal		kg PM ₁₀ / ton hout	kg PM ₁₀ /ton referentie- materiaal		g ZM /ton hout	g ZM/ton referentie- materiaal		kg stof /ton hout	kg stof/ton referentie- materiaal	
		Referentie- materiaal	Gem.	Gem.	Min.	Max.	Gem.	Min.	Max.	Gem.	Min.	Max.	Gem.	Min.	Max.	Gem.	Min.
Spaanplaat (600 kg/m ³) als constructie- materiaal of voor meubel- productie	Gipsplaat	800		0,0036			0,15			n.g.			0,027			0,37	
	Stortbeton	2400		0,068	0,075		0,004	0,005		0,31	0,46		0,042	0,042		n.g.	
	Staalplaat	7850		0,006	0,011		15	15		n.g.			1,5	1,6		1,7	2,6
	Baksteen	2400	0,021	-		0,55	-		0,58	-		0,96	-		0,028	-	
	OSB	650		-			1,63			0,75			-			-	
	Rondhout	400		0,0000086			0,18			0,019			0,18			n.g.	
	Triplex	540		0,18	0,003		0,012	0,79		1,4	1,1		0,15	0,56		0,35	