

# **Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor verbranding van hernieuwbare brandstoffen**



---

# Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor verbranding van hernieuwbare brandstoffen

---

*L. Goovaerts, A. Van der Linden, I. Moorkens en  
K. Vrancken*



ACADEMIA PRESS



<http://www.emis.vito.be>

© Academia Press – Gent  
Eekhout 2  
9000 Gent

Deze uitgave kwam tot stand in het kader van het project ‘Vlaams kenniscentrum voor de Beste Beschikbare Technieken en bijhorend Energie en Milieu Informatie Systeem’ (BBT/EMIS) van het Vlaams Gewest.

BBT/EMIS wordt begeleid door een stuurgroep met vertegenwoordigers van de Vlaamse minister van Leefmilieu, Energie, Natuur en Openbare werken, het departement Leefmilieu, Natuur en Energie (LNE), het departement Economie, Wetenschap en Innovatie (EWI) en IWT, OVAM, VLM, VMM, ZG.

Hoewel al het mogelijke gedaan is om de accurateheid van de studie te waarborgen, kunnen noch de auteurs, noch VITO, noch het Vlaams Gewest aansprakelijk gesteld worden voor eventuele nadelige gevolgen bij het gebruik van deze studie. Specifieke vermeldingen van procédés, merknamen, enz. moeten steeds beschouwd worden als voorbeelden en betekenen geen beoordeling of engagement.

De gegevens uit deze studie zijn geactualiseerd tot 2008.

De uitgaven van Academia Press worden verdeeld door:

Wetenschappelijke Boekhandel J. STORY-SCIENTIA NV  
Sint-Kwintensberg 87  
9000 Gent  
Tel. (09) 225 57 57 - Fax (09) 233 14 09

Voor Nederland:  
Ef & Ef  
Eind 36  
6017 BH Thorn  
Tel. 0475 561501 - Fax 0475 56 16 60

L. Goovaerts, A. Van der Linden, I. Moorkens en K. Vrancken  
Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor verbranding van hernieuwbare brandstoffen  
Gent, Academia Press, 2008, xvi + 313 pp.

Opmaak: proress.be

ISBN: 978 90 382 1519 8  
Wettelijk Depot: D/2009/4804/216  
Bestelnummer U1363  
NUR 973

Voor verdere informatie, kan u terecht bij:  
BBT-kenniscentrum  
VITO  
Boeretang 200  
B-2400 MOL  
Tel. 014/33 58 68  
Fax 014/32 11 85  
e-mail: bbt@vito.be

*Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of vermenigvuldigd door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.*

## TEN GELEIDE

In opdracht van de Vlaamse Regering is bij VITO in 1995 een kenniscentrum voor Beste Beschikbare Technieken opgericht. Dit BBT-kenniscentrum heeft als taak informatie te verspreiden over milieuvriendelijke technieken in bedrijven. Doelgroepen voor deze informatie zijn milieuverantwoordelijken in bedrijven en de overheid. De uitgave van dit boek kadert binnen deze opdracht. Het BBT-kenniscentrum wordt, samen met het zusterproject EMIS (<http://www.emis.vito.be>) begeleid door een stuurgroep met vertegenwoordigers van de Vlaamse minister van Leefmilieu, Energie, Natuur en Openbare werken, het departement Leefmilieu, Natuur en Energie (LNE), het departement Economie, Wetenschap en Innovatie en de agentschappen IWT, OVAM, VEA, VLM, VMM en Zorg en Gezondheid.

Milieuvriendelijke technieken zijn erop gericht de milieuschade die bedrijven veroorzaken te beperken. Het kunnen technieken zijn om afvalwater en afgasen te zuiveren, afval te verwerken of bodemvervuiling op te ruimen. Veel vaker betreft het echter preventieve maatregelen die de uitstoot van vervuilende stoffen voorkomen en het energie- en grondstoffenverbruik reduceren. Indien dergelijke technieken, in vergelijking met alle gelijkaardige technieken, het best scoren op milieugebied én indien ze bovendien betaalbaar blijken, spreken we over Beste Beschikbare Technieken of BBT.

Milieunormen die aan bedrijven worden opgelegd, zijn in belangrijke mate gebaseerd op de BBT. Zo zijn de Vlaamse II sectorale normen vaak een weergave van de mate van milieubescherming die met de BBT haalbaar is. Het bepalen van de BBT is daarom niet alleen nuttig als informatiebron voor bedrijven, maar ook als referentie waarvan de overheid nieuwe milieunormen kan afleiden. In bepaalde gevallen verleent de Vlaamse overheid ook subsidies aan bedrijven als deze investeren in de BBT.

Het BBT-kenniscentrum werkt BBT-studies uit per bedrijfstak of per groep van gelijkaardige activiteiten. Deze studies beschrijven de BBT en geven achtergrondinformatie. De achtergrondinformatie laat milieuanbtenaren toe de dagelijkse bedrijfspraktijk beter aan te voelen en geeft bedrijfsverantwoordelijken aan wat de wetenschappelijke basis is voor de verschillende milieuvoorwaarden. De BBT worden getoetst aan de vergunningsnormen en de regels inzake ecologiepremie die in Vlaanderen van kracht zijn. Soms zijn suggesties gedaan om deze normen en regels te verfijnen. Het verleden heeft geleerd dat de Vlaamse Overheid de gesuggereerde verfijningen vaak effectief gebruikt voor nieuwe Vlaamse reglementering en voor de ecologiepremie. In afwachting hiervan moeten ze echter als niet-bindend worden beschouwd.

BBT-studies zijn het resultaat van een intensieve zoektocht in de literatuur, bezoeken aan bedrijven, samenwerking met sectorexperts, het bevragen van leveranciers, uitgebreide contacten met bedrijfsverantwoordelijken en ambtenaren, etc. Het spreekt voor zich dat de geschatte BBT overeenkomen met een momentopname en dat niet alle BBT – nu en in de toekomst – in dit werk opgenomen kunnen zijn.



---

## LEESWIJZER

### *Hoofdstuk 1 Inleiding*

licht eerst het begrip “Beste Beschikbare Technieken” toe en de invulling ervan in Vlaanderen en schetst vervolgens het algemene kader van voorliggende BBT-studie. Ondermeer het voor-nemen, de hoofddoelstellingen en de werkwijze van deze BBT-studie worden hierbij verduide-lijkt.

### *Hoofdstuk 2 Socio-economische en milieu-juridische situering*

is een socio-economische doorlichting van de verbranding van hernieuwbare brandstoffen. In dit hoofdstuk wordt het belang weergegeven van de verbranding van hernieuwbare brandstoffen met aantal en omvang van de installaties. Gezien de brede toepasbaarheid van de verbranding van hernieuwbare brandstoffen werd geopteerd om niet te werken op sectorniveau. Er wordt een overzicht gegeven van de huidige verbrandingsinstallaties voor hernieuwbare brandstoffen in Vlaanderen. Daarnaast worden de voornaamste wettelijke bepalingen opgesomd die op de ver-branding van hernieuwbare brandstoffen van toepassing (kunnen) zijn. Een overzicht van de globale milieupact van de installaties besluit het hoofdstuk.

### *Hoofdstuk 3 Procesbeschrijving*

beschrijft in detail de procesvoering bij de verbranding van hernieuwbare brandstoffen. Voor elk van de processtappen wordt de bijbehorende milieuproblematiek geschetst.

### *Hoofdstuk 4 Beschikbare milieuvriendelijke technieken*

licht de verschillende maatregelen toe die bij verbranding van hernieuwbare brandstoffen voor-zien zijn of geïmplementeerd kunnen worden om milieuhinder te voorkomen of te beperken. De beschikbare milieuvriendelijke maatregelen worden per milieudiscipline (water, lucht, geluid en trillingen, afval, bodem en energie) en per brandstoftype (vast, vloeibaar, gas) besproken. Indien noodzakelijk werden de technieken verder gedetailleerd in aparte technische fiches in bijlage 4.

### *Hoofdstuk 5 Selectie van de Beste Beschikbare Technieken*

evalueert de milieuvriendelijke maatregelen die in hoofdstuk 4 beschreven zijn naar hun impact op milieu, technische haalbaarheid en kostprijs. De economische haalbaarheid van maatregelen is sterk sector gebonden en kan dus moeilijk in deze horizontale studie worden geëvalueerd. In deze studie wordt daarom geopteerd om te werken met een maximaal haalbare kostprijs per ton pollutant verwijderd, m.n. de kosteneffectiviteit. De geselecteerde technieken worden als BBT beschouwd op basis van deze vooropgestelde maximaal haalbare kostprijs.

### *Hoofdstuk 6 Aanbevelingen op basis van de Beste Beschikbare Technieken*

geeft suggesties om de bestaande milieureggeving te concretiseren en/of aan te vullen. In dit hoofdstuk wordt onderzocht welke van de milieuvriendelijke technieken in aanmerking komen voor investeringssteun in het kader van de ecologiepremie. Op basis van de lacunes in de beschikbare kennis/informatie met betrekking tot de milieu-impact van het verbranden van her-nieuwbare brandstoffen als de toepasbaarheid van bepaalde milieumaatregelen, worden voor-stellen voor bijkomend onderzoek en/of technologische ontwikkelingen aangegeven.





**INHOUDSTAFEL**

<b>TEN GELEIDE</b> .....	I
<b>LEESWIJZER</b> .....	III
<b>SAMENVATTING</b> .....	IX
<b>ABSTRACT</b> .....	XIII
<b>Hoofdstuk 1. INLEIDING</b> .....	I
<i>1.1. Beste Beschikbare Technieken in Vlaanderen</i> .....	I
1.1.1. Definitie .....	I
1.1.2. Beste Beschikbare Technieken als begrip in het Vlaamse milieubeleid .....	I
1.1.3. Het Vlaams kenniscentrum voor Beste Beschikbare Technieken .....	2
<i>1.2. De BBT-studie ‘verbranding van hernieuwbare brandstoffen’</i> .....	3
1.2.1. Doelstellingen van de studie .....	3
1.2.2. Inhoud van de studie .....	3
1.2.3. Begeleiding en werkwijze .....	4
<b>Hoofdstuk 2. OMSCHRIJVING, AFBAKENING EN MILIEU-JURIDISCHE SITUERING</b> .....	5
<i>2.1. Omschrijving van de term “hernieuwbare brandstof”</i> .....	5
2.1.1. Definitie van hernieuwbare brandstof .....	5
2.1.2. Besluit .....	8
<i>2.2. Afbakening van de sector</i> .....	12
<i>2.3. Milieu-juridische aspecten</i> .....	14
2.3.1. VLAREM I .....	14
2.3.2. VLAREM II .....	19
2.3.3. VLAREA .....	43
2.3.4. VLAREBO .....	43
2.3.5. Andere Vlaamse wetgeving .....	44
2.3.6. Beleidsinstrument: .....	45
2.3.7. Europese wetgeving .....	46
2.3.8. IPPC richtlijn en BREF grote stookinstallaties .....	54
2.3.9. Buitenlandse wetgeving .....	60
<b>Hoofdstuk 3. PROCESBESCHRIJVING EN MILIEU-ASPECTEN</b> .....	79
<i>3.1. Inleiding</i> .....	79
<i>3.2. Vaste hernieuwbare brandstoffen</i> .....	79
3.2.1. Algemeen .....	79
3.2.2. Verbranding .....	85

<b>3.3.</b>	<b><i>Vloeibare hernieuwbare brandstoffen</i></b> .....	90
3.3.1.	Algemeen .....	90
3.3.2.	Verbranding .....	96
<b>3.4.</b>	<b><i>Gasvormige hernieuwbare brandstoffen</i></b> .....	99
3.4.1.	Algemeen .....	99
3.4.2.	Verbranding .....	101
<b>3.5.</b>	<b><i>Warmteproductie, elektriciteitsproductie en WKK</i></b> .....	103
3.5.1.	Warmteproductie in ketelsystemen .....	103
3.5.2.	Elektriciteitsproductie .....	103
3.5.3.	Warmtekrachtkoppeling (WKK) .....	105
3.5.4.	Verbetering van elektrische rendementen .....	106
<b>3.6.</b>	<b><i>Co-verbranding</i></b> .....	106
3.6.1.	Basisconcepten co-verbranding .....	107
3.6.2.	Direct co-verbranden .....	107
3.6.3.	Indirect co-verbranden .....	107
3.6.4.	Parallele verbranding .....	108
3.6.5.	Operationele ervaringen en technische risico's .....	108
3.6.6.	Impact op emissies .....	110
<b>3.7.</b>	<b><i>Milieuaspecten</i></b> .....	111
3.7.1.	Emissies naar lucht: kwalitatief .....	112
3.7.2.	Emissies naar lucht: kwantitatief .....	123
3.7.3.	Emissies naar water .....	139
3.7.4.	Afval en residuen .....	139
3.7.5.	Geluid en trillingen .....	140
<b>Hoofdstuk 4.</b>	<b>BESCHIKBARE MILIEUVRIENDELIJKE TECHNIEKEN ...</b>	141
<b>4.1.</b>	<b><i>Emissiebeperkende maatregelen naar lucht bij het verbranden van vaste hernieuwbare brandstoffen in stookinstallaties</i></b> .....	141
4.1.1.	Reductie van stofemissies .....	141
4.1.2.	Reductie van SO <sub>2</sub> -emissies .....	142
4.1.3.	Reductie van NO <sub>x</sub> -emissies .....	144
<b>4.2.</b>	<b><i>Emissiebeperkende maatregelen naar lucht bij het verbranden van vloeibare hernieuwbare brandstoffen in stookinstallaties</i></b> .....	150
4.2.1.	Reductie van stofemissies .....	150
4.2.2.	Reductie van SO <sub>2</sub> -emissies .....	150
4.2.3.	Reductie van NO <sub>x</sub> -emissies .....	150
4.2.4.	Technieken om emissies naar de atmosfeer te voorkomen of reduceren op stookinstallaties op vloeibare hernieuwbare brandstoffen .....	153
<b>4.3.</b>	<b><i>Emissiebeperkende maatregelen naar lucht bij het verbranden van vloeibare hernieuwbare brandstoffen in dieselmotoren</i></b> .....	155
4.3.1.	Reductie van stofemissies .....	155
4.3.2.	Reductie van SO <sub>2</sub> -emissies .....	155
4.3.3.	Reductie van NO <sub>x</sub> -emissies .....	155
4.3.4.	Technieken om emissies naar de atmosfeer te voorkomen of reduceren op dieselmotoren op hernieuwbare brandstoffen .....	158

<b>4.4.</b>	<b><i>Emissiebeperkende maatregelen naar lucht bij het verbranden van gasvormige hernieuwbare brandstoffen in stookinstallaties</i></b> .....	160
4.4.1.	Reductie van stofemissies .....	160
4.4.2.	Reductie van SO <sub>2</sub> -emissies .....	160
4.4.3.	Reductie van NO <sub>x</sub> -emissies .....	160
4.4.4.	Technieken om emissies naar de atmosfeer te voorkomen of reduceren op stookinstallaties op gasvormige hernieuwbarebrandstoffen .....	161
<b>4.5.</b>	<b><i>Emissiebeperkende maatregelen naar lucht bij het verbranden van gasvormige hernieuwbare brandstoffen in gasmotoren</i></b> .....	163
4.5.1.	Reductie van stofemissies .....	163
4.5.2.	Reductie van SO <sub>2</sub> -emissies .....	163
4.5.3.	Reductie van NO <sub>x</sub> -emissies .....	163
4.5.4.	Technieken om emissies naar de atmosfeer te voorkomen of reduceren op gasmotoren op gasvormige hernieuwbare brandstoffen .....	165
<b>4.6.</b>	<b><i>Emissiebeperkende maatregelen naar lucht bij het verbranden van gasvormige hernieuwbare brandstoffen in gasturbines</i></b> .....	167
4.6.1.	Reductie van stofemissies .....	167
4.6.2.	Reductie van SO <sub>2</sub> -emissies .....	167
4.6.3.	Reductie van NO <sub>x</sub> -emissies .....	167
4.6.4.	Technieken om emissies naar de atmosfeer te voorkomen of reduceren op gasturbines op gasvormige hernieuwbare brandstoffen .....	168
<b>4.7.</b>	<b><i>Verhogen energie-efficiëntie</i></b> .....	170
<b>4.8.</b>	<b><i>Emissiebeperkende maatregelen naar water</i></b> .....	170
<b>4.9.</b>	<b><i>Maatregelen naar geluid</i></b> .....	171
<b>4.10.</b>	<b><i>Maatregelen naar warmte</i></b> .....	171
<b>4.11.</b>	<b><i>Maatregelen naar afval</i></b> .....	171
 <b>Hoofdstuk 5. SELECTIE VAN DE BESTE BESCHIKBARE TECHNIEKEN (BBT)</b> .....		173
<b>5.1.</b>	<b><i>Evaluatie van de beschikbare milieuvriendelijke technieken-algemene methodologie</i></b> .....	173
<b>5.2.</b>	<b><i>BBT-evaluatie – specifieke aanpak</i></b> .....	179
5.2.1.	Bepalen haalbaar emissieniveau .....	179
5.2.2.	Aanpak economische analyse .....	179
<b>5.3.</b>	<b><i>BBT-evaluatie – resultaten berekening kosteneffectiviteit en gevoeligheidsanalyse</i></b> .....	180
5.3.1.	Resultaten kosteneffectiviteit, bij basisinvestering .....	181
5.3.2.	Resultaten kosteneffectiviteit, rekeninghoudend met gevoeligheidsanalyse .....	185
<b>5.4.</b>	<b><i>BBT-conclusies</i></b> .....	194
5.4.1.	Vaste hernieuwbare brandstoffen .....	194
5.4.2.	Vloeibare hernieuwbare brandstoffen .....	199
5.4.3.	Gasvormige hernieuwbare brandstoffen .....	200

<b>Hoofdstuk 6. AANBEVELINGEN OP BASIS VAN DE BESTE BESCHIKBARE TECHNIEKEN</b> .....	203
<b>6.1. Aanbevelingen voor de milieuregelgeving</b> .....	203
<b>6.2. Aanbevelingen voor ecologiepremie</b> .....	204
6.2.1. Inleiding .....	204
6.2.2. Toetsing van de milieuvriendelijke technieken voor het verbranden van hernieuwbare brandstoffen aan de criteria voor ecologiepremie ..	206
6.2.3. Aanbevelingen voor de LTL .....	208
<b>6.3. Suggesties voor verder onderzoek</b> .....	208
<b>BIBLIOGRAFIE</b> .....	211
<b>BIJLAGEN</b> .....	217
<b>OVERZICHT VAN DE BIJLAGEN</b> .....	218
<b>Bijlage 1. Medewerkers BBT-studie</b> .....	219
<b>Bijlage 2. Lijst van productie-installaties die biomassa (vast, vloeibaar of gasvormig) verbranden waaraan groenestroomcertificaten worden toegekend</b> .....	223
<b>Bijlage 3. Berekeningen</b> .....	241
<b>Bijlage 4. Omrekeningsformules en -factoren</b> .....	251
<b>Bijlage 5. Technische fiches</b> .....	253
<b>Bijlage 6. Finale opmerkingen</b> .....	309

## SAMENVATTING

Het BBT-kenniscentrum, opgericht in opdracht van de Vlaamse Regering bij VITO, heeft tot taak het inventariseren, verwerken en verspreiden van informatie rond milieuvriendelijke technieken. Tevens moet het centrum de Vlaamse overheid adviseren bij het concreet maken van het begrip Beste Beschikbare Technieken (BBT). In dit rapport worden de BBT voor de verbranding van hernieuwbare brandstoffen in kaart gebracht.

Het doel van deze BBT-studie is in eerste instantie het inventariseren van de beschikbare informatie betreffende de milieu-impact van het verbranden van hernieuwbare brandstoffen. Vervolgens is nagegaan welke milieumaatregelen beschikbaar zijn om deze milieu-impact te beperken en/of reduceren. De studie richt zich hoofdzakelijk op de technieken die betrekking hebben op het verminderen van stof, NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub>-emissies. Deze analyse vormt de basis voor het formuleren van de BBT voor het verbranden van hernieuwbare brandstoffen en geeft inzicht in de mogelijk haalbare emissieniveaus.

De term ‘hernieuwbare brandstof’ dekt een ruime lading. In de ruimste zin van het woord omvat hernieuwbare brandstof 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. Deze definitie omvat zowel plantaardige als dierlijke stoffen. Biomassa en biomassa-afval vormen een onderdeel van hernieuwbare brandstoffen. Daar de meeste nieuwe initiatieven inzake verbranding van hernieuwbare brandstoffen kleine en middelgrote installaties betreft, ligt de focus van dit rapport op deze installaties. Het betreft hier zowel stookinstallaties als stationaire motoren.

Het verbranden van hernieuwbare brandstoffen is een recente sector in volle ontwikkeling. Hernieuwbare brandstoffen kennen een aantal gelijkenissen met fossiele brandstoffen, maar ook een aantal verschillen.

Bepaalde vaste hernieuwbare brandstofstromen worden gekenmerkt door hogere N-, S- en asgehalten in vergelijking met steenkool. Dit resulteert in hogere emissieniveaus voor deze stromen. Omwille van hun aard en fysische eigenschappen wordt er een breder gamma van verbrandingstechnieken gebruikt.

Vloeibare en gasvormige hernieuwbare brandstoffen hebben dan weer meer gelijkenissen met fossiele brandstoffen, en worden ook in gelijkaardige verbrandingsinstallaties en motoren gestookt. Het verschil met fossiele brandstoffen is dat bij hernieuwbare brandstoffen geen constante samenstelling kan gegarandeerd worden. Vloeibare hernieuwbare brandstoffen worden ook gekenmerkt door een hoger zuurstofgehalte in de brandstof. Dit leidt tot verhoogde NO<sub>x</sub>-emissies. Tevens bevatten biogassen sporenelementen en siloxanen welke een negatieve invloed hebben op de werking van de nageschakelde katalysatoren. Deze aspecten worden momenteel verder onderzocht door de leveranciers.

Bij de evaluatie van BBT zal de aard en samenstelling van de brandstoffen dan ook een bepalende rol spelen.

De BBT-studie is o.a. gebaseerd op beschikbare literatuur in binnen en buitenland, de beperkte set aan meetgegevens voorhanden, berekeningen van emissies en kosten, bedrijfsbezoeken en regelmatig overleg met vertegenwoordigers van betrokken federaties, leveranciers, operatoren en de milieuadministraties. Het formeel overleg met de sector en de overheid gebeurde in het begeleidingscomité.

Omdat het een recente sector betreft, zijn de beschikbare meetgegevens voor het ganse pakket van hernieuwbare brandstoffen en de praktijkervaringen met emissiereductietechnieken nog beperkt. Vandaar dat in overleg met het begeleidingscomité is besloten te werken met berekende emissieniveaus voor zowel de initiële emissies voor vaste brandstoffen als de haalbare emissieniveaus met de emissiereductietechnieken. Voor vloeibare brandstoffen is het niet mogelijk deze in te schatten op basis van berekeningen. Er is hierbij gewerkt met de beperkte beschikbare informatie.

De evaluatie van de technische haalbaarheid en de milieuaspecten leidt tot een breed gamma van technieken. Om voor deze horizontale sector tot BBT-conclusies te komen is gewerkt met de kosteneffectiviteit van de milieumaatregelen. De kosteneffectiviteit (kost per ton gereduceerde emissie) is bepaald op basis van de inschatting van investerings- en operationele kosten als de reductierendementen van de milieumaatregelen. Voor de beoordeling van de kosteneffectiviteit is gewerkt met een indicatieve referentierange. Voor NO<sub>x</sub>-reductietechnieken ligt deze van minder dan 5 tot max. 7 euro per kg NO<sub>x</sub> verwijderd. Voor SO<sub>2</sub>-reductiemaatregelen ligt deze van minder dan 2,5 tot max. 3 euro per kg SO<sub>2</sub> verwijderd.

De kostenhaalbaarheid (kost t.o.v. de economische draagkracht van de sector) van milieutechnieken is sterk sectorafhankelijk. Deze is dan ook niet bepaald in deze studie. Dit zal geval per geval moeten bekeken worden.

Om de mogelijkheden en invloed van deze aanpak te analyseren is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Hieruit blijkt dat bij de selectie van BBT het aantal draaiuren, het vermogen en de investeringskost bepalende factoren zijn. Vermits de investeringskosten, en emissieniveaus, voor bestaande en nieuwe installaties verschillend zijn, wordt er dan ook een onderscheid gemaakt tussen beide.

Op basis van bovenstaande aannames en vaststellingen zijn BBT conclusies geformuleerd, zoals aangegeven in onderstaande tabellen. Hierbij is er een onderscheid gemaakt in samenstelling van de brandstof, aantal draaiuren en het vermogen van de installatie en bestaande of nieuwe installaties. Voor de volledige bespreking van de aannames wordt verwezen naar paragraaf 5.2.2, 5.4 en bijlage 3. Deze bespreking is van groot belang bij de interpretatie van de tabellen. Verder wordt in de paragraaf 5.4 ook het BBT-gerelateerd emissieniveau aangegeven.

- Vaste hernieuwbare brandstoffen
  - BBT voor de reductie van stof<sup>1</sup>

<b>Bestaande installaties</b>		
	<b>&lt; 4000 u</b>	<b>&gt; 4000 u</b>
< 1% as	Multicycloon	Multicycloon
> 1% as	Multicycloon	< 5 MW Multicycloon > 5 MW Doekfilter of ESP
<b>Nieuwe installaties</b>		
	<b>&lt; 4000 u</b>	<b>&gt; 4000 u</b>
< 1% as	Multicycloon	< 5 MW Multicycloon > 5 MW Doekfilter of ESP
> 1% as	< 5 MW Multicycloon > 5 MW Doekfilter of ESP	Doekfilter of ESP

<sup>1</sup> BBT is het gebruik van gegeven technieken OF een techniek met een gelijkwaardige performantie.

- BBT voor de reductie SO<sub>2</sub><sup>1,2</sup>

<b>Bestaande installaties</b>		
	<b>&lt; 4000 u</b>	<b>&gt; 4000 u</b>
< 1% S	< 5 MW Gebruik brandstof < 0,3 gew.% S > 5 MW Droog sorbent injectie	Droog sorbent injectie of gebruik van brandstof met < 0,3 gew.% S
> 1% S	droog sorbent injectie	Droog sorbent injectie
<b>Nieuwe installaties</b>		
	<b>&lt; 4000 u</b>	<b>&gt; 4000 u</b>
< 1% S	Droog sorbent injectie of gebruik van brandstof met < 0,1 gew.% S	Droog sorbent injectie of gebruik van brandstof met < 0,1 gew.% S > 20 MW Natte wassing
> 1% S	Droog sorbent injectie > 20 MW Natte wassing	Droog sorbent injectie > 20 MW Natte wassing

- BBT voor de reductie van NOx<sup>1</sup>

<b>Bestaande installaties</b>		
	<b>&lt; 4000 u</b>	<b>&gt; 4000 u</b>
< 1% N	Geen nageschakelde techniek	SNCR of gebruik van brandstof met < 0,4 gew.% N
> 1% N	SNCR	SCR
<b>Nieuwe installaties</b>		
	<b>&lt; 4000 u</b>	<b>&gt; 4000 u</b>
< 1% N	SNCR of gebruik van brandstof met < 0,4 gew.% N	SCR
> 1% N	SCR	SCR

- Vloeibare hernieuwbare brandstoffen

- BBT voor de reductie van NOx<sup>1</sup>

<b>Stookinstallaties</b>		
	<b>&lt; 4000 u</b>	<b>&gt; 4000 u</b>
Dierlijke vetten	SNCR	Primaire maatregelen + SNCR of SCR*
	<b>&lt; 6000 u</b>	<b>&gt; 6000 u</b>
PPO en gerecycleerde frituurvetten	Primaire maatregelen	Primaire maatregelen + SNCR of SCR*
<b>Dieselmotoren</b>		
Dierlijke vetten en PPO	SCR	

\* combinatie met SCR voor nieuwe installaties

<sup>2</sup> Bij de BBT-evaluatie is de combinatie van in-situ ontzwaveling bij wervelbedovens en nageschakelde ontzwavelingstechnieken niet doorgerekend. De combinatie van beide technieken is technisch wel mogelijk.

- Gasvormige hernieuwbare brandstoffen
  - BBT voor de reductie van NO<sub>x</sub><sup>1</sup>

Bestaand	Nieuw
<b>Stookinstallaties</b>	
Primaire maatregelen: lage NO <sub>x</sub> brander	Optimalisatie primaire maatregelen
<b>Gasmotoren en -turbines</b>	
Primaire maatregelen lean burn of dry low NO <sub>x</sub>	Optimalisatie primaire maatregelen

Bij het omzetten van deze BBT conclusies tot vergunningsvoorwaarden spelen naast BBT ook andere beleidsaspecten mee, o.a. Europese Richtlijnen rond nationale emissieplafonds en de stimulering van WKK en hernieuwbare brandstoffen. Daar al deze aspecten moeten bekeken worden, is het niet mogelijk om binnen deze studie aanbevelingen voor Vlarem op algemeen of sectorniveau voor te stellen.

Deze studie biedt het inzicht in de factoren die bepalend zijn voor de milieu-impact van het verbranden van hernieuwbare brandstoffen. Tevens wijst het de technieken aan die beschikbaar zijn (technisch en kosteneffectief) om deze milieu-impact optimaal te beperken.



## ABSTRACT

The centre for Best Available techniques (BAT) is founded by the Flemish government, and is hosted by VITO. The BAT centre collects, evaluates and distributes information on environmentally friendly techniques. Moreover, it advises the Flemish authorities on how to translate this information into its environmental policy. Central in this translation is the concept 'BAT' (Best Available Techniques). BAT corresponds to the techniques with the best environmental performance that can be introduced at a reasonable cost.

The objective of this study is to list all available information concerning the environmental impact of the combustion of renewable fuels. Next the environmentally friendly techniques that can prevent or reduce the environmental impact are evaluated. This report focuses mainly on the techniques to reduce dust, NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub> emissions. This analysis is the basis for the selection of BAT for the combustion of renewable fuels and provides an insight into the achievable emission levels.

The term 'renewable' covers a broad range of fuels. In the widest sense of the word, renewable fuels include all biodegradable fractions of products, wastes and residues from agriculture, forestry and relevant sectors and also biodegradable fractions from industrial and domestic waste. This definition includes both vegetable and animal products. Biomass and bio-waste are part of renewable fuels. As most new initiatives in the field of the combustion of renewable fuels concern small and medium sized installations, these combustion installations and stationary engines will be the focus of this report.

The combustion of renewable fuels is still a sector under development. Renewable fuels show some similarity with fossil fuels, but also some differences.

Certain solid renewable fuels are characterized by high levels of N, S and ashes in comparison with coal. This results in higher emission levels for these renewable fuels. Because of their nature and physical characteristics a broader range of combustion techniques are used.

Liquid and gaseous renewable fuels bear more similarity to fossil fuels. These fuels are also combusted in similar combustion installations and engines. The difference with fossil fuels is that renewable fuels are characterized by a potential variable composition and a higher level of oxygen. This results in higher levels of NO<sub>x</sub> emissions. Furthermore the biogases contain trace elements and siloxanes which have a negative impact on the operation of the installed catalysts. These aspects are currently examined by the suppliers.

When evaluating BAT, the nature and composition of the fuels will be important factors to be considered.

The BAT selection is based on a literature survey, a limited set of measurement data, calculations of emissions and costs, plant visits and repeated discussions with industry experts and authorities. The formal consultation was organized by means of an advisory committee.

As this concerns a recent sector, the available measurement data and practical experiences with renewable fuels are limited. Because of the limited sets of available data, it was decided, in consultation with the advisory committee, to work with calculated emission levels for solid fuels, both for the raw and cleaned emissions. For liquid and gaseous fuels it is not possible to estimate the emission levels based on calculations. For these fuels the limited available data sets are used.

The evaluation of the technical feasibility and environmental aspects of the environmentally friendly techniques leads to a broad range of potential techniques. To be able to select BAT for this horizontal sector the cost-efficiency of the environmental techniques is used. The cost-efficiency (cost per ton emissions reduced) is determined based on an estimation of the investment and operational costs and reduction efficiencies. Indicative reference values for the assessment of the cost-efficiency are used. For NO<sub>x</sub> reduction techniques this value lies between <5 and. 7 euro per tonne NO<sub>x</sub> reduced. For SO<sub>2</sub> reduction measures the reference value lies between < 2,5 and. 3,5 euro per tonne SO<sub>2</sub> reduced.

The feasibility of the costs (cost related to the economic strength of the sector) is subject to the specific sector. Therefore this can not be determined in this horizontal study and needs to be considered on a case by case level.

To analyse the potential and effect of this approach, a sensitivity analysis was carried out. This analysis showed that the number of operating hours, the capacity and the investment costs of the environmental techniques are important factors in the evaluation of BAT. Since investment costs – and emission levels – for new and existing installations differ, a distinction between new and existing installations is made.

The BAT conclusions are based on the assumptions and conclusion as mentioned above. The BAT conclusions are summarized in the tables below. Here, a distinction is made between the composition of the fuel, the number of operating hours, the capacity and new or existing installations. For more details on the assumptions used to evaluate BAT and BAT associated emission levels, we refer to the full text in Dutch. For information you can contact the Flemish BAT centre.

- Solid renewable fuels
  - BAT for the reduction of dust<sup>3</sup>

Existing installations		
	< 4000 h	> 4000 h
< 1% ash	Multi-cyclone	Multi-cyclone
> 1% ash	Multi-cyclone	< 5 MW Multi-cyclone > 5 MW Fabric filter or ESP
New installations		
	< 4000 h	> 4000 h
< 1% ash	Multi-cyclone	< 5 MW Multi-cyclone > 5 MW Fabric filter or ESP
> 1% ash	< 5 MW Multi-cyclone > 5 MW Fabric filter or ESP	Fabric filter or ESP

- BAT for the reduction of SO<sub>2</sub><sup>1,4</sup>

Existing installations		
	< 4000 h	> 4000 h
< 1% S	< 5 MW use of fuel with < 0,3 wt.% S > 5 MW Dry sorbent injection	Dry sorbent injection or use of fuel with < 0,3 wt.% S
> 1% S	Dry sorbent injection	Dry sorbent injection

<sup>3</sup> It is BAT to use the techniques given in the tables or any other technique with a similar environmental performance.

New installations		
	< 4000 h	> 4000 h
< 1% S	Dry sorbent injection or use of fuel with < 0,1 wt.% S	Dry sorbent injection or use of fuel with < 0,1 wt.% S > 20 MW Wet scrubber
> 1% S	Dry sorbent injection > 20 MW Wet scrubber	Dry sorbent injection > 20 MW Wet scrubber

- BAT for the reduction of NOx<sup>1</sup>

Existing installations		
	< 4000 h	> 4000 h
< 1% N	No end-of-pipe techniques	SNCR or use of fuels with < 0,4 wt.% N
> 1% N	SNCR	SCR
New installations		
	< 4000 h	> 4000 h
< 1% N	SNCR use of fuels with < 0,4 wt.% N	SCR
> 1% N	SCR	SCR

- Liquid renewable fuels

- BAT for the reduction of NOx<sup>1</sup>

Combustion installations		
	< 4000 h	> 4000 h
Animal fat	SNCR	Primary measures + SNCR of SCR*
	< 6000 h	> 6000 h
Pure vegetable oils and recycled frying oils	Primary measures	Primary measures + SNCR of SCR*
Diesel engines		
Animal fat and pure vegetable oils	SCR	

\* combination with SCR for new installations

- Gaseous renewable fuels

- BAT for the reduction of NOx<sup>1</sup>

Existing	New
Combustion installations	
Primary measures: low NOx burner	Optimization of primary measures
Gas engines and turbines	
Primary measures: lean burn or dry low NOx	Optimization of primary measures

<sup>4</sup> In the evaluation of BAT the combination of in-situ desulphurisation in fluidised bed combustion systems with other desulphurisation techniques is not considered. In practice however, the combination of these techniques is technically feasible.

When translating these BAT conclusions into permit conditions a number of policy issues need to be considered, e.g. the European Directive on National Emissions Ceilings (NEC) and the promotion of co-generation and renewable fuels. As all of these aspects need to be taken into account, it is impossible to make recommendations for environmental permit conditions neither on a general nor sector level within this BAT study.

This report provides an insight into the important factors which determine the environmental impact of the combustion of renewable fuels. Furthermore it shows the techniques that are available (technically and cost-effective) to reduce this environmental impact.

## **Hoofdstuk 1**                      **INLEIDING**

### **1.1. Beste Beschikbare Technieken in Vlaanderen**

#### **1.1.1. Definitie**

Het begrip “Beste Beschikbare Technieken”, afgekort BBT, wordt in Vlarem I<sup>1</sup>, artikel 1 29°, gedefinieerd als:

*“het meest doeltreffende en geavanceerde ontwikkelingsstadium van de activiteiten en exploitatiemethoden, waarbij de praktische bruikbaarheid van speciale technieken om in beginsel het uitgangspunt voor de emissiegrenswaarden te vormen is aangetoond, met het doel emissies en effecten op het milieu in zijn geheel te voorkomen of, wanneer dat niet mogelijk blijkt algemeen te beperken;*

- a) *“technieken”*: zowel de toegepaste technieken als de wijze waarop de installatie wordt ontworpen, gebouwd, onderhouden, geëxploiteerd en ontmanteld;
- b) *“beschikbare”*: op zodanige schaal ontwikkeld dat de technieken, kosten en baten in aanmerking genomen, economisch en technisch haalbaar in de industriële context kunnen worden toegepast, onafhankelijk van de vraag of die technieken al dan niet op het grondgebied van het Vlaamse Gewest worden toegepast of geproduceerd, mits ze voor de exploitant op redelijke voorwaarden toegankelijk zijn;
- c) *“beste: het meest doeltreffend voor het bereiken van een hoog algemeen niveau van bescherming van het milieu in zijn geheel.”*

Deze definitie vormt het vertrekpunt om het begrip BBT concreet in te vullen voor verbranding van hernieuwbare brandstoffen in Vlaanderen.

#### **1.1.2. Beste Beschikbare Technieken als begrip in het Vlaamse milieubeleid**

##### **a. Achtergrond**

Bijna elke menselijke activiteit (vb. woningbouw, industriële activiteit, recreatie, landbouw) beïnvloedt op de één of andere manier het leefmilieu. Vaak is het niet mogelijk in te schatten hoe schadelijk die beïnvloeding is. Vanuit deze onzekerheid wordt geoordeeld dat iedere activiteit met maximale zorg moet uitgevoerd worden om het leefmilieu zo weinig mogelijk te belasten. Dit stemt overeen met het zogenaamde voorzorgsbeginsel.

In haar milieubeleid gericht op het bedrijfsleven heeft de Vlaamse overheid dit voorzorgsbeginsel vertaald naar de vraag om de “Beste Beschikbare Technieken” toe te passen. Deze vraag wordt als zodanig opgenomen in de algemene voorschriften van Vlarem II (art. 4.1.2.1). Het toepassen van de BBT betekent in de eerste plaats dat iedere exploitant al wat technisch en economisch mogelijk is, moet doen om milieuschade te vermijden. Daarnaast wordt ook de naleving van de vergunningsvoorwaarden geacht overeen te stemmen met de verplichting om de BBT toe te passen.

<sup>1</sup> Vlarem I: Besluit van de Vlaamse Regering van 6 februari 1991 houdende vaststelling van het Vlaams Reglement betreffende de milieuvergunning, herhaaldelijk gewijzigd.

Ook in de meeste andere geïndustrialiseerde landen kan het BBT-principe worden teruggevonden in de milieureggeving, zij het soms met een andere klemtoon. Vergelijkbare begrippen zijn o.a.: BAT (Best Available Techniques), BATNEEC (Best Available Techniques Not Entailing Excessive Costs), de Duitse ‘Stand der Technik’, het Nederlandse ALARA-principe (As Low as Reasonably Achievable) en ‘Beste Uitvoerbare Technieken’.

Binnen het Vlaamse milieubeleid wordt het begrip BBT in hoofdzaak gehanteerd als basis voor het vastleggen van milieuvergunningvoorwaarden. Dergelijke voorwaarden die aan inrichtingen in Vlaanderen worden opgelegd steunen op twee pijlers:

- *de toepassing van de BBT;*
- *de resterende milieueffecten mogen geen afbreuk doen aan de vooropgestelde milieukwaliteitsdoelstellingen.*

Ook de Europese “IPPC” Richtlijn (2008/1/EC), schrijft de lidstaten voor op deze twee pijlers te steunen bij het vastleggen van milieuvergunningvoorwaarden.

### ***b. Concretisering van het begrip***

Om concreet inhoud te kunnen geven aan het begrip BBT, dient de algemene definitie van Vlaarem I nader verduidelijkt te worden. Het BBT-kenniscentrum hanteert onderstaande invulling van de drie elementen.

“*Beste*” betekent “beste voor het milieu als geheel”, waarbij het effect van de beschouwde techniek op de verschillende milieucompartimenten (lucht, water, bodem, afval) wordt afgewogen;

“*Beschikbare*” duidt op het feit dat het hier gaat over iets dat op de markt verkrijgbaar en redelijk in kostprijs is. Het zijn dus technieken die niet meer in een experimenteel stadium zijn, maar effectief hun waarde in de bedrijfspraktijk bewezen hebben. De kostprijs wordt redelijk geacht indien deze haalbaar is voor een ‘gemiddeld’ bedrijf uit de beschouwde sector én niet buiten verhouding is tegenover het behaalde milieuresultaat;

“*Technieken*” zijn technologieën én organisatorische maatregelen. Ze hebben zowel te maken met procesaanpassingen, het gebruik van minder vervuilende grondstoffen, end-of-pipe maatregelen, als met goede bedrijfspraktijken.

Het is hierbij duidelijk dat wat voor het ene bedrijf een BBT is dat niet voor een ander hoeft te zijn. Toch heeft de ervaring in Vlaanderen en in andere regio’s/landen aangetoond dat het mogelijk is algemene BBT-lijnen te trekken voor groepen van bedrijven die dezelfde processen gebruiken en/of gelijkaardige producten maken.

Dergelijke sectorale of bedrijfstak-BBT maken het voor de overheid mogelijk *sectorale vergunningsvoorwaarden* vast te leggen. Hierbij zal de overheid doorgaans niet de BBT zelf opleggen, maar wel de milieuprestaties die met BBT haalbaar zijn als norm beschouwen.

Het concretiseren van BBT voor sectoren vormt tevens een nuttig referentiepunt bij het toekennen van steun bij milieuvriendelijke investeringen door de Vlaamse overheid. De regeling ecologiepremie bepaalt dat bedrijven die milieu-inspanningen leveren die verdergaan dan de wettelijke vereisten, kunnen genieten van een investeringssubsidie.

#### **1.1.3. Het Vlaams kenniscentrum voor Beste Beschikbare Technieken**

Om de overheid te helpen bij het verzamelen en verspreiden van informatie over BBT en om haar te adviseren in verband met het BBT-gerelateerde vergunningenbeleid, heeft VITO

(Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek) op vraag van de Vlaamse overheid een Kenniscentrum voor Beste Beschikbare Technieken uitgebouwd. Dit BBT-kenniscentrum inventariseert informatie rond beschikbare milieuvriendelijke technieken, selecteert daaruit de beste beschikbare technieken en vertaalt deze naar vergunningsvoorwaarden en ecologiepremie. De resultaten worden op een actieve wijze verspreid, zowel naar de overheid als naar het bedrijfsleven, onder meer via sectorrapporten, informatiesessies en het Internet (<http://www.emis.vito.be>).

Het BBT-kenniscentrum wordt gefinancierd door het Vlaams gewest en begeleid door een stuurgroep met vertegenwoordigers van de Vlaamse minister van Leefmilieu, Energie, Natuur en Openbare werken, het departement Leefmilieu, Natuur en Energie (LNE), het departement Economie, Wetenschap en Innovatie (EWI), en de agentschappen IWT, OVAM, VEA, VLM, VMM en Zorg en Gezondheid.

## **1.2. De BBT-studie ‘verbranding van hernieuwbare brandstoffen’**

### **1.2.1. Doelstellingen van de studie**

De laatste jaren zijn installaties voor de verbranding van hernieuwbare brandstoffen in opmars, in verschillende sectoren. Voornaamste redenen hiervoor zijn de hoge olie- en gasprijen, en het stimulerende beleid voor alternatieve brandstoffen. Ondermeer het toekennen van groenestroomcertificaten is een belangrijke stimulans voor het toepassen van hernieuwbare brandstoffen in installaties waar elektriciteit wordt geproduceerd.

De term ‘hernieuwbare brandstof’ dekt een ruime lading. In de ruimste zin van het woord omvat hernieuwbare brandstof 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<sup>2</sup>. Deze definitie omvat zowel plantaardige als dierlijke stoffen. Biomassa en biomassa-afval vormen een onderdeel van hernieuwbare brandstoffen.

Het doel van deze BBT-studie is in eerste instantie het inventariseren van de beschikbare informatie betreffende de milieu-impact van het verbranden van hernieuwbare brandstoffen. Daar de meeste nieuwe initiatieven inzake verbranding van hernieuwbare brandstoffen kleine en middelgrote installaties betreft, zal de focus van dit rapport dan ook op deze installaties liggen. Zowel gasvormige, vloeibare en vaste hernieuwbare stromen, in zowel stationaire motoren als stookinstallaties worden beschreven. Vervolgens wordt nagegaan welke milieumaatregelen beschikbaar zijn om deze milieu-impact te beperken en/of reduceren. Deze analyse vormt de basis voor het formuleren van de BBT voor het verbranden van hernieuwbare brandstoffen.

### **1.2.2. Inhoud van de studie**

Vertrekpunt van het onderzoek naar de Beste Beschikbare Technieken voor verbranding van hernieuwbare brandstoffen is een socio-economische doorlichting (hoofdstuk 2). Gezien de brede toepasbaarheid van biomassaverbranding zal deze studie zich niet op een specifieke sector richten. Daarnaast worden de voornaamste wettelijke bepalingen opgesomd die op de ver-

<sup>2</sup> Def EU RL betreffende de bevordering van elektriciteitsopwekking uit hernieuwbare energiebronnen op de interne elektriciteitsmarkt (RL 2001/77/EG)

branding van hernieuwbare brandstoffen van toepassing (kunnen) zijn. Tenslotte wordt een overzicht gegeven van de globale milieu-impact van de installaties.

In het derde hoofdstuk wordt de procesvoering in detail beschreven en wordt per brandstofsoort en installatietype nagegaan welke milieueffecten optreden.

Op basis van een uitgebreide literatuurstudie, aangevuld met gegevens van leveranciers en bedrijfsbezoeken, wordt in hoofdstuk vier een inventaris opgesteld van milieuvriendelijke technieken voor de verbranding van hernieuwbare brandstoffen. Vervolgens vindt voor elk van deze technieken een evaluatie plaats, niet alleen van het globaal milieurendement, maar ook van de technische en economische haalbaarheid. Deze grondige afweging laat ons toe de Beste Beschikbare Technieken te selecteren.

De BBT zijn op hun beurt de basis voor suggesties met betrekking tot ecologiepremie en verder onderzoek (hoofdstuk 6).

### **1.2.3. Begeleiding en werkwijze**

Voor de wetenschappelijke begeleiding van de studie werd een begeleidingscomité samengesteld met vertegenwoordigers van industrie en overheid. Dit comité kwam 8 keer bijeen om de studie inhoudelijk te sturen (03/05/2007, 05/07/2007, 11/12/2007, 26/02/2008, 08/05/2008, 30/06/2008, 01/10/2008, 22/01/2009). De namen van de leden van dit comité en van de externe deskundigen die aan deze studie hebben meegewerkt, zijn opgenomen in bijlage 1. Het BBT-kenniscentrum heeft voor zover mogelijk rekening gehouden met de opmerkingen van het begeleidingscomité. Dit rapport is evenwel geen compromistekst maar komt overeen met wat het BBT-kenniscentrum op dit moment als de stand der techniek en de daaraan gekoppelde meest aangewezen aanbevelingen beschouwt.



**Hoofdstuk 2****OMSCHRIJVING, AFBAKENING EN MILIEU-JURIDISCHE SITUERING**

*In dit hoofdstuk wordt de verbranding van hernieuwbare brandstoffen gesitueerd en doorge-licht.*

*Vooreerst wordt getracht de term ‘hernieuwbare brandstof’ te omschrijven en het onderwerp van de studie zo precies mogelijk af te bakenen. Tevens wordt een overzicht gegeven van de betrokken op basis van de lijst van groenestroomcertificaten. In een derde paragraaf wordt dieper ingegaan op de belangrijkste milieu-juridische aspecten voor het verbranden van hernieuwbare brandstoffen.*

**2.1. Omschrijving van de term “hernieuwbare brandstof”****2.1.1. Definitie van hernieuwbare brandstof**

Binnen de huidige regelgeving worden verschillende definities gehanteerd voor het begrip biomassa. In de regelgeving betreffende ‘duurzame energie’ wordt het begrip biomassa veel ruimer gedefinieerd dan in het kader van emissieregelgeving. In wat volgt worden de verschillende gehanteerde definities (Vlaamse en Europese) weergegeven.

**2.1.1.1. VLAREM II**

In VLAREM II worden biomassa en biomassa-afval gedefinieerd in hoofdstuk 5.2 “inrichtingen voor de verwerking van afval” en in hoofdstuk 5.43 “niet in rubriek 2 en 28 begrepen verbrandingsinrichtingen”. De definitie zoals gebruikt in VLAREM II wordt hieronder weergegeven.

**a) biomassa:** producten, bestaande uit plantaardige materialen of delen daarvan van landbouw of bosbouw, die kunnen worden gebruikt om de energie-inhoud terug te winnen, alsmede biomassa-afval

**b) biomassa-afval:**

- *plantaardig afval van land- en bosbouw;*
- *plantaardig afval van de levensmiddelenindustrie, indien de opgewekte warmte wordt teruggewonnen;*
- *vezelachtig afval afkomstig van de productie van ruwe pulp en van de productie van papier uit pulp, dat op de plaats van productie wordt meeverbrand en waarvan de vrijgekomen energie wordt teruggewonnen;*
- *natuurlijk hout, schors inbegrepen, dat alleen een mechanische behandeling heeft ondergaan;*
- *kurkafval;*
- *houtafval, met uitzondering van houtmateriaal 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.*

Verder vinden we in VLAREM II een definitie terug voor verontreinigd behandeld houtafval.

**c) Verontreinigd behandeld houtafval:** hout dat als gevolg van een behandeling met houtbeschermingsmiddelen of van het aanbrengen van een bedekkingslaag gehalogeneerde organische verbindingen, PAK's, dan wel zware metalen kan bevatten, met inbegrip van met name dergelijk houtafval dat afkomstig is van bouw- en sloopafval, waarbij een of meer samenstellingseisen zoals vermeld in artikel 5.2.3bis. 4.14 overschreden worden

Voor niet-verontreinigd behandeld houtafval is er geen specifieke definitie opgenomen in VLAREM. In artikel 5.2.3bis4.14 staan wel samenstellingsvoorwaarden. Niet-verontreinigd behandeld houtafval mag maximaal de genoemde concentraties aan verontreiniging bevatten.

**Tabel 1:** Overzicht samenstellingsvoorwaarden voor niet-verontreinigd behandeld houtafval

Samenstellingsvoorwaarden in mg/kg DS		
Verontreinigende stof	A	B
arseen en arseenverbindingen, uitgedrukt als arseen (As)	2	4
koper en koperverbindingen, uitgedrukt als koper (Cu)	20	40
lood en loodverbindingen, uitgedrukt als lood (Pb)	90	180
chromium en chromiumverbindingen, uitgedrukt als chromium (Cr)	30	60
fluor en fluorverbindingen, uitgedrukt als F	30	60
chloor en chloorverbindingen, uitgedrukt als Cl	600	1200
pentachloorfenol	3	6
benzo-a-pyreen	0,5	1

Deze samenstellingsvoorwaarden gelden als richtwaarden. Er wordt voldaan aan de samenstellingsvoorwaarden als per stroom en per leverancier:

- bij een jaarlijkse en zesmaandelijks bemonstering geen van de concentraties, vermeld in kolom B, overschreden wordt;
- bij driemaandelijks bemonstering geen van de concentraties, vermeld in kolom B, overschreden wordt en per kalenderjaar minstens drie van de vier metingen voldoen aan de concentraties van kolom A;
- bij meer dan vier metingen per jaar geen van de concentraties, vermeld in kolom B, overschreden wordt en per kalenderjaar minstens 80% van de metingen voldoen aan de concentraties van kolom A.

Het is de bedoeling dat de bestaande definities in VLAREM gewijzigd worden zodat volgende categorieën houtafval onderscheiden kunnen worden: onbehandeld houtafval, niet-verontreinigd behandeld houtafval en verontreinigd behandeld houtafval<sup>3</sup>.

### 2.1.1.2. *Besluit van de Vlaamse Regering inzake de bevordering van elektriciteitsopwekking uit hernieuwbare energiebronnen (5 maart 2004)*

**a) biomassa:** de biologisch afbreekbare fractie van producten, afvalstoffen en residuen van de landbouw (met inbegrip van plantaardige en dierlijke stoffen), de bosbouw en aanverwante bedrijfstakken, alsmede de biologisch afbreekbare fractie van industrieel en huishoudelijk afval.

Daarnaast geeft Art. 15 van het besluit een opsomming van de hernieuwbare energiebronnen waarvan de VREG de toegekende groenestroomcertificaten aanvaardt voor de certificatenver-

<sup>3</sup> Communicatie Nico Vanaken, OVAM, 2007

plichting. Niet voor alle biomassa, zoals gedefinieerd in het genoemde besluit komt in aanmerking om te voldoen voor de certificatenverplichting. Volgende stromen komen in aanmerking voor de certificatenverplichting en zijn relevant voor deze studie:

- 6° *biogas voortkomend uit de vergisting van organisch-biologische stoffen:*
- a) *in vergistingsinstallaties;*
  - b) *in stortplaatsen;*
- 7° *energie opgewekt uit volgende organisch-biologische stoffen:*
- a) *producten, bestaande uit plantaardige materialen of delen daarvan van landbouw of bosbouw, met uitzondering van houtstromen die niet behoren tot a)bis, a)ter, c) of d) en die gebruikt worden in een installatie waarvoor de stedenbouwkundige en de milieuvergunningsaanvraag werden ingediend na 1 juni 2007;*
    - a) *bis korte-omloop-hout;*
    - a) *ter houtstromen die niet gebruikt worden als industriële grondstof;*
  - b) *dierlijke mest;*
  - c) *organisch-biologische afvalstoffen die selectief ingezameld werden en niet in aanmerking komen voor materiaalrecyclage of worden verwerkt conform de bepalingen van het van toepassing zijnde sectorale uitvoeringsplan;*
  - d) *organisch-biologische afvalstoffen die gesorteerd worden uit restafval en niet in aanmerking komen voor materiaalrecyclage of worden verwerkt conform de bepalingen van het van toepassing zijnde sectorale uitvoeringsplan;*
  - e) *het organisch-biologisch deel van restafval, op voorwaarde dat de betrokken verwerkingsinstallatie door energierecuperatie een primaire energiebesparing realiseert van minstens 35% van de energie-inhoud van de afvalstoffen verwerkt in de installatie.*

#### **2.1.1.3. RL 2000/76/EG: verbranding van afval**

**a) biomassa:** producten, bestaande uit plantaardige materialen of delen daarvan van landbouw of bosbouw, die kunnen worden gebruikt om de energie-inhoud terug te winnen, alsmede afval dat onder het in artikel 2, lid 2, onder a), punt i) tot en met v) bedoelde toepassingsgebied valt:

- *plantaardig afval van land- en bosbouw,*
- *plantaardig afval van de levensmiddelenindustrie, indien de opgewekte warmte wordt teruggewonnen,*
- *vezelachtige afval afkomstig van de productie van ruwe pulp en van de productie van papier uit pulp, als het op de plaats van productie wordt meeverbrand en de opgewekte warmte wordt teruggewonnen,*
- *houtafval, met uitzondering van houtmateriaal 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,*
- *kurkafval,*

#### **2.1.1.4. RL 2001/77/EG: bevordering van elektriciteitsopwekking uit hernieuwbare energiebronnen op de interne elektriciteitsmarkt**

**a) biomassa:** de biologisch afbreekbare fractie van producten, afvalstoffen en residuen van de landbouw (met inbegrip van plantaardige en dierlijke stoffen), de bosbouw en aanverwante bedrijfstakken, alsmede de biologisch afbreekbare fractie van industrieel en huishoudelijk afval.

### 2.1.1.5. *RL 2001/80/EG: beperking van de emissies van bepaalde verontreinigende stoffen in de lucht door grote stookinstallaties*

**a) biomassa:** producten die geheel of gedeeltelijk bestaan uit plantaardig landbouw- of bosbouw materiaal dat gebruikt kan worden als brandstof om de energetische inhoud ervan te benutten, alsmede de volgende als brandstof gebruikte afvalstoffen:

- *plantaardig afval van land- en bosbouw;*
- *plantaardig afval van de levensmiddelenindustrie indien de opgewekte warmte wordt teruggewonnen;*
- *vezelachtig afval afkomstig van de productie van ruwe pulp en van de productie van papier uit pulp, als het op de plaats van productie wordt mee verbrand en de opgewekte warmte wordt teruggewonnen;*
- *kurkafval.*
- *houtafval, met uitzondering van houtmateriaal 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.*

### 2.1.1.6. *Actieplan Biomassa (COM(2005) 628 definitief) p.7:*

#### **a) Elektriciteit uit biomassa**

Uit alle soorten biomassa kan via diverse technieken elektriciteit worden opgewekt (zie bijlage 6 van het actieplan). De Commissie moedigt de lidstaten aan om het potentieel te benutten van alle rendabele technieken voor de opwekking van elektriciteit uit biomassa. De richtlijn betreffende elektriciteitsopwekking uit hernieuwbare energiebronnen vormt het kader voor elektriciteitsproductie op basis van biomassa. De lidstaten hebben er zich toe verbonden een bepaalde hoeveelheid elektriciteit op te wekken uit hernieuwbare energie. In de meeste gevallen lijkt het onmogelijk deze doelstellingen te halen zonder intensiever gebruik te maken van biomassa. De tenuitvoerlegging van de richtlijn is derhalve essentieel voor de ontwikkeling van elektriciteit uit biomassa. De Commissie zal dit van nabij blijven volgen. In warmtekrachtkoppelinginstallaties kan uit biomassa tegelijkertijd elektriciteit en warmte worden gewonnen. De Commissie moedigt lidstaten aan bij de toepassing van nationale steunregelingen rekening te houden met dit dubbel rendement.

## 2.1.2. **Besluit**

### 2.1.2.1. *Term hernieuwbare brandstof*

In regelgeving over afval en ter beperking van emissies wordt een andere (beperkte) definitie van biomassa gehanteerd dan in regelgeving omtrent het opwekken van elektriciteit uit hernieuwbare energiebronnen. Voor hetzelfde 'toepassingsgebied' (afval/emissies of energie) is de gehanteerde beschrijving gelijk voor Vlaanderen en Europa.

In VLAREM II, RL 2000/76/EG en RL 2001/80/EG worden enkel stromen die van *plantaardige oorsprong* zijn beschouwd als biomassa. Bovendien worden er strikte eisen gesteld aan de herkomst van het materiaal. Enkel *geteelde biomassa uit de land- en bosbouw* wordt beschouwd als zuivere *biomassa*. Hieronder wordt biomassa verstaan die speciaal geteeld wordt met het oog op energetische valorisatie. Omdat in de regelgeving melding wordt gemaakt van 'producten, bestaande uit...' kan worden aangenomen dat de energetische valorisatie ofwel rechtstreeks kan

gebeuren (rechtstreekse verbranding van de biomassa) of door middel van een tussenstap (productie van bijvoorbeeld pure plantaardige olie (PPO), biodiesel, biogas, ...). De geproduceerde hernieuwbare brandstoffen kunnen vervolgens worden gevaloriseerd.

In de Vlaamse wetgeving wordt nog een bijkomende term gedefinieerd: biomassa-afval. Het gaat hierbij om een aantal *specifieke plantaardige fracties* die in voornoemde regelgeving worden opgesomd (zie §a). Omdat er enkel een opsomming wordt gegeven van de stromen die als biomassa-afval moeten worden beschouwd is het onduidelijk of hernieuwbare brandstoffen worden geproduceerd op basis van deze fractie (zoals bijvoorbeeld biodiesel of biogas) eveneens worden beschouwd als biomassa-afval. In de Europese regelgeving wordt deze fractie als *biomassa* beschouwd.

De *overige stromen* van plantaardige oorsprong die niet specifiek worden genoemd in voorgaande beschrijving (zoals plantaardig afval van de productie van hernieuwbare brandstoffen, groenafval, groente-, fruit- en tuinafval (GFT), ...) worden beschouwd als *afval*. Dit geldt ook voor stromen van dierlijke oorsprong (zoals dierlijk afval) Alsook voor de hernieuwbare brandstoffen geproduceerd op basis van voornoemde stromen. Dierlijke mest tenslotte wordt als een aparte categorie beschouwd.

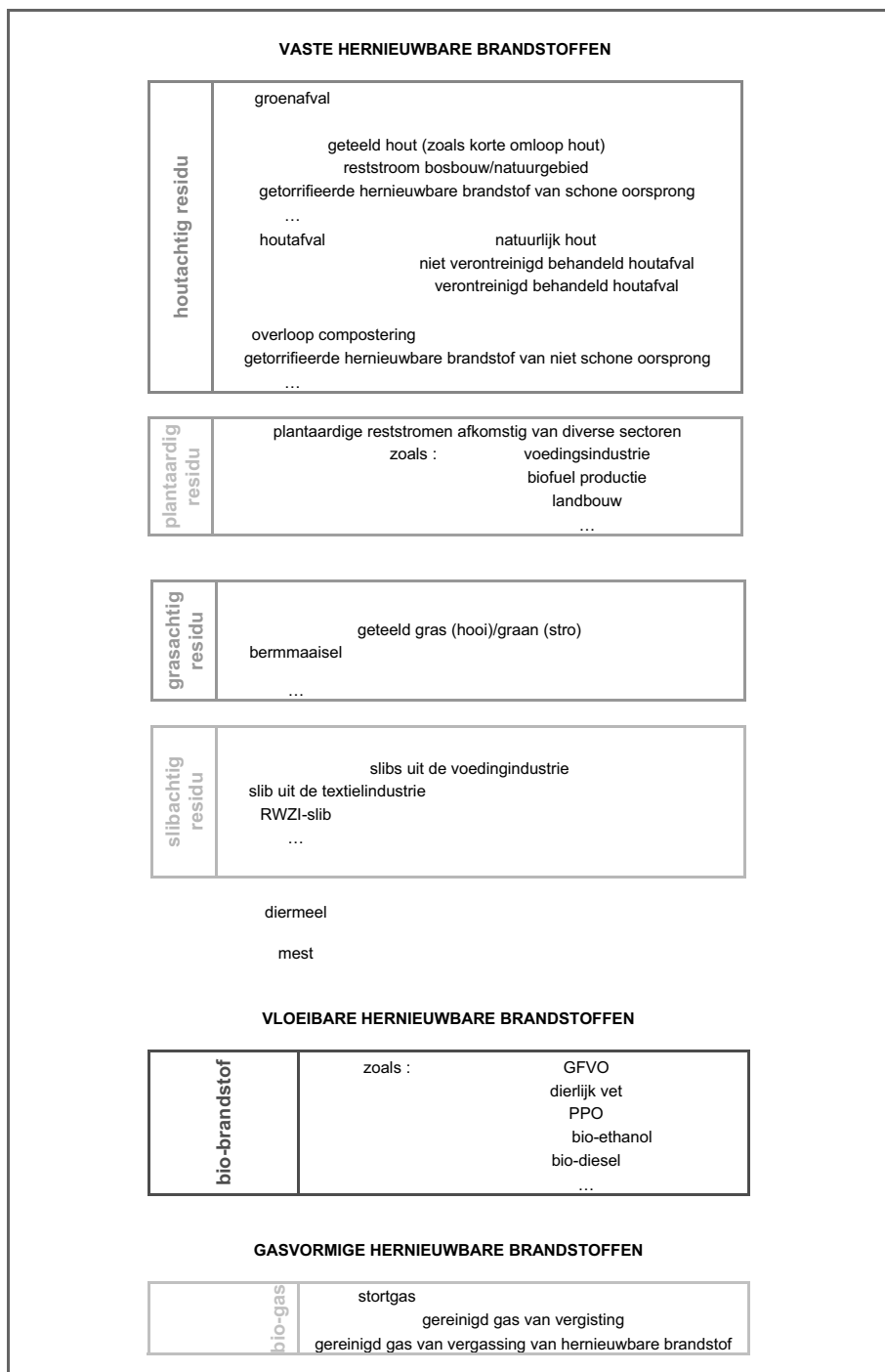
De omschrijving van biomassa die in voorgaande paragraaf wordt gegeven is te eng is in het kader van deze studie. Daarom wordt geopteerd om de omschrijving van biomassa te gebruiken die in de regelgeving over hernieuwbare energie wordt gebruikt (besluit van de Vlaamse regering van 5 maart 2004 inzake de bevordering van elektriciteitsopwekking uit hernieuwbare energiebronnen en RL 2001/77/EG).

In deze regelgeving wordt de biologisch afbreekbare fractie van producten, afvalstoffen en residuen van de landbouw, de bosbouw en aanverwante bedrijfstakken alsook de biologisch afbreekbare fractie van industrieel en huishoudelijk afval als biomassa beschouwd. Dit wil zeggen dat alle stromen, zowel van plantaardige als dierlijke oorsprong, zowel geteelde biomassa als residu's of afvalfracties beschouwd worden als biomassa. Ook de hernieuwbare brandstoffen geproduceerd op basis van voornoemde fracties worden beschouwd als biomassa.

Zoals blijkt uit bovenstaande bespreking kan de term "biomassa" op verschillende manieren geïnterpreteerd worden. Vandaar dat geopteerd werd om in deze studie gebruik te maken van de term 'hernieuwbare brandstoffen'.

#### **2.1.2.2. Afbakening hernieuwbare brandstoffen**

In onderstaande figuur (Figuur 1) wordt een *niet limitatief* overzicht gegeven van de hernieuwbare brandstoffen die worden beschouwd in deze studie. De stromen worden ingedeeld in drie hoofdgroepen volgens de *fase* waarin de stof zich bevindt, namelijk vast, vloeibaar of gas.



*Figuur 1: Overzicht van de in deze studie beschouwde hernieuwbare brandstoffen*

Voor *vaste hernieuwbare brandstoffen* is er een bijkomende opsplitsing op basis van specifieke kenmerken van groepen van hernieuwbare brandstoffen. Er wordt onderscheid gemaakt tussen volgende groepen van residu's: houtachtige, plantaardige, grasachtige- en slibachtige residu's. Diermeel en dierlijke mest worden apart beschouwd. Binnen de groep van de vaste hernieuwbare brandstoffen worden er dus 6 groepen onderscheiden. Dit onderscheid berust voornamelijk op specifieke karakteristieken van de brandstoffen en de hiermee gepaard gaande beperkingen bij de verbranding ervan. Een aantal zeer specifieke stromen worden niet opgenomen in de studie. Een voorbeeld hiervan is Black Liquor, een reststroom die ontstaat in de papierindustrie.

Voor *vloeibare hernieuwbare brandstoffen* is een bijkomende opsplitsing niet nodig. Een mogelijke opdeling die zich zou kunnen aandienen is het opsplitsen naar 'zware' en 'lichte' brandstoffen. Bio-ethanol zou dan ingedeeld worden bij de licht brandstoffen terwijl de overige vloeibare hernieuwbare brandstoffen zoals PPO, biodiesel, dierlijk vet, ed. bij zware brandstoffen zouden worden ingedeeld. Voor stationaire toepassingen is het echter zeer onwaarschijnlijk dat bio-ethanol in de nabije toekomst toepassing zal vinden<sup>4</sup>. Vandaar dat deze opsplitsing in het kader van deze studie niet aan de orde is. In deze studie worden deze vloeibare hernieuwbare brandstoffen ook biobrandstoffen genoemd.

Voor *gasvormige hernieuwbare brandstoffen* dient de vraag naar bijkomende opsplitsing zich niet aan. In deze studie worden deze gasvormige hernieuwbare brandstoffen ook biogas genoemd.

Naast de opsplitsing volgens de fase waarin de stof zich bevindt, wordt ook nog een opsplitsing gemaakt naar *schone en niet-schone* hernieuwbare brandstoffen. Het onderscheid tussen schone en niet-schone berust op de graad van vervuiling van de hernieuwbare brandstof. Met vervuiling wordt de aanwezigheid van elementen bedoeld in zulke hoeveelheden die niet als normaal of gemiddeld voor een bepaalde schone hernieuwbare stroom kunnen worden beschouwd. De elementen die voor de opsplitsing schoon – niet-schoon in beschouwing worden genomen zijn het asgehalte, N, S, zware metalen en chloor.

De opsplitsing wordt enkel gemaakt bij vaste hernieuwbare brandstoffen. Zowel voor vloeibare als voor gasvormige hernieuwbare brandstoffen is deze bijkomende opsplitsing niet nodig, hetzij om verschillende redenen.

De vloeibare hernieuwbare brandstoffen die anno 2007 op grote schaal worden geproduceerd zijn zogenoemde "eerste generatie biobrandstoffen". Biodiesel wordt geproduceerd op basis van PPO die op zijn beurt geproduceerd wordt op basis van 'olierijke' gewassen. Deze gewassen worden specifiek voor dit doel geteeld op gewone landbouwgronden. Voor deze gewassen kan men dus uitgaan van de veronderstelling dat ze geen vervuilende elementen bevatten. Er gaan echter stemmen op om deze gewassen te telen op vervuilde bodems om alzo zware metalen die in deze bodems aanwezig zijn te capteren in de plant. Het is momenteel niet duidelijk waar deze vervuilingen zich zullen opstapelen in de plant. Bovendien is het ook nog niet duidelijk waar de vervuiling die in de planten aanwezig zou kunnen zijn, terecht zou komen tijdens de productie van de vloeibare hernieuwbare brandstof.

Daarnaast wordt er momenteel ook veel onderzoek verricht naar de productie van zogenoemde "tweede generatie biobrandstoffen". Deze biobrandstoffen worden geproduceerd op basis van energiegewassen, waarbij de hele plant wordt gebruikt, of op basis van organisch-biologische reststromen. Voor deze grondstoffen bestaat de kans dat ze elementen bevatten die niet gewenst zijn in de biobrandstof, zoals zware metalen. Ook hier geldt hetzelfde als bij eerste generatie

<sup>4</sup> Mondelinge communicatie Luc Pelkmans

biobrandstoffen: het is momenteel niet duidelijk waar vervuilingen die aanwezig zijn in de “grondstof” (plant of reststromen) terecht zullen komen bij de productie van de biobrandstoffen. De kans is echter groot dat (zeker voor zware metalen) de vervuiling ergens tijdens het productieproces zal worden verwijderd uit de grondstoffen. Dit omdat de kans bestaat dat de installaties die worden gebruikt bij de productie van vloeibare hernieuwbare brandstoffen schade zouden kunnen ondervinden van deze vervuiling. Vandaar dat in het kader van deze studie werd geopteerd geen opsplitsing naar schoon – niet-schoon te maken voor vloeibare hernieuwbare brandstoffen.

Voor gasvormige hernieuwbare brandstoffen is de opsplitsing schoon – niet-schoon niet van toepassing omdat, in het kader van deze studie, we er van uitgaan dat deze brandstoffen aan bepaalde vooropgestelde kwaliteitseisen moeten voldoen om verwerkt te kunnen worden in de besproken installaties. De kwaliteitseisen zoals vooropgesteld voor deze studie kan u terugvinden in hoofdstuk 3.

Bij het beschrijven van kandidaat BBT wordt de hierboven opgestelde opdeling niet gevolgd. Zoals eerder vermeld is deze opdeling vooral gebaseerd op verbrandingskarakteristieken (N-gehalte, asgehalte, calorische waarde) van de verschillende brandstoffen, en niet op hun fysische eigenschappen.

## 2.2. Afbakening van de sector

De verbranding van biomassa gebeurt in zeer uiteenlopende installaties: van (kleine) houtverbrandingsinstallatie tot co-verbranding in grote centrales. De installaties zijn opgesteld in verschillende economische sectoren. Een socio-economische afbakening van de sector, zoals in de meeste BBT studies, is daarom niet mogelijk. Er kan wel een overzicht geven worden van de opgestelde installaties in Vlaanderen.

Houtverbranding in de residentiële sector (houtkachels, open haard, ...) worden niet beschouwd in deze studie. De co-verbranding van vaste hernieuwbare brandstoffen in grootschalige elektriciteitscentrales (> 50 MW) wordt beschouwd in voorliggende studie. De bespreking wordt echter beperkt tot de aanpassingen die nodig zijn aan de installatie om de hernieuwbare brandstoffen mee te kunnen verbranden.

Voor het overzicht van de installaties die worden beschouwd in de studie gaan we uit van de lijst met de productie-installaties waaraan groenestroomcertificaten worden toegekend van de VREG. In deze lijst zijn de installaties opgenomen die elektriciteit produceren op basis van hernieuwbare brandstoffen verbranden overeenkomstig het Besluit van de Vlaamse Regering inzake de bevordering van elektriciteitsopwekking uit hernieuwbare energiebronnen (5 maart 2004). Deze lijst werd aangevuld met de installaties die hernieuwbare brandstoffen verbranden en geen elektriciteit opwekken. Hiervoor werd beroep gedaan op de bedrijvenlijst gebruikt voor de energiebalans Vlaanderen.

Van het merendeel van de installaties is het opgesteld vermogen bekend. Voor de installaties met onbekend vermogen werd het gemiddelde van installaties op dezelfde brandstof genomen. Onderstaande tabellen geven een overzicht van de huidige installaties in Vlaanderen. Het totaal opgestelde vermogen bedraagt ongeveer 550 MW.



In Tabel 2 worden de installaties opgedeeld naar gebruik van de geproduceerde energie (elektriciteit, elektriciteit & warmte en warmte). De installaties die elektriciteit produceren vertegenwoordigen het grootste deel (ongeveer 360 MW). Het betreft relatief grotere installaties dan de installaties die enkel warmte produceren.

*Tabel 2: Inventaris verbrandingsinstallaties hernieuwbare brandstoffen; opgedeeld naar aanwending*

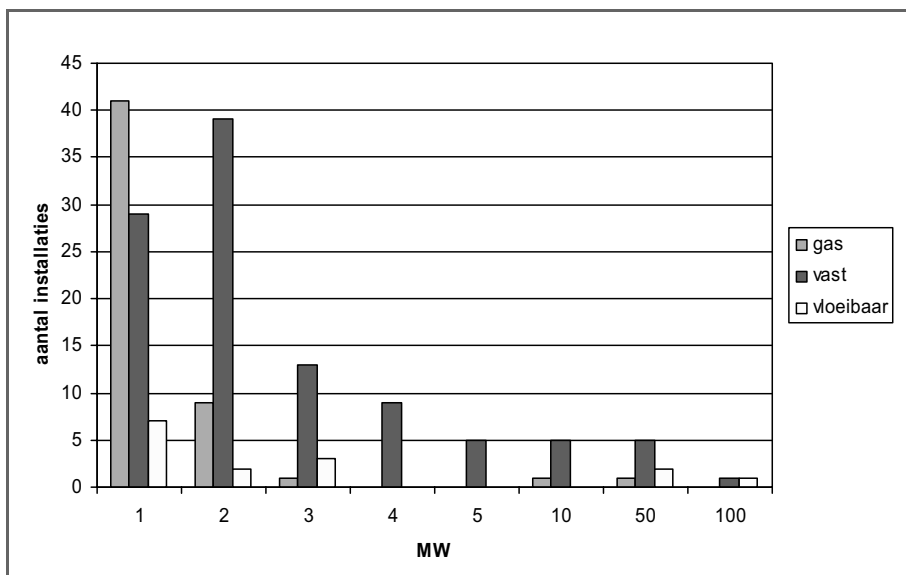
	Aantal	Totaal opgesteld vermogen (kW)	Gemiddeld vermogen (kW)
installaties elektriciteit (GSC) (en evt warmte)	80	360.815	4.510
installaties warmte	94	190.441	2.026

Het overgrote deel van de installaties (ongeveer 60% van het aantal) werkt op vaste hernieuwbare brandstoffen; ongeveer 30% op vloeibare en 10% op gasvormige. In Tabel 3 wordt een overzicht gegeven.

*Tabel 3: Inventaris verbrandingsinstallaties hernieuwbare brandstoffen; opgedeeld naar soort brandstof*

	Aantal	%	Totaal opgesteld vermogen (kW)	%	Gemiddeld vermogen (kW)
gas	53	30%	54.309	10%	1.025
vast	106	61%	369.575	67%	3.487
vloeibaar	15	9%	127.372	23%	8.491
totaal	174	100%	551.256	100%	3.168

Zoals blijkt uit Figuur 2 zijn de installaties op gas vooral kleinere installaties. 94% van de installaties heeft een vermogen van maximaal 2 MW. Bij de installaties op vaste en vloeibare hernieuwbare brandstoffen zien we enerzijds enkele grotere installaties en anderzijds vele kleine. Respectievelijk 64% en 60% van de installaties hebben een vermogen van maximaal 2 MW. Voor de installaties op vloeibare hernieuwbare brandstoffen zien we dan dat de verdeling over middelgroot een groot gelijk is: 20%. Bij installaties op vaste hernieuwbare brandstoffen zien we een gelijkmatige afname van het aantal installaties naar mate het vermogen van de installaties groter wordt: 25% middelgrote en 10% grote installaties.



**Figuur 2:** Histogram opgestelde vermogens van installaties op hernieuwbare brandstoffen per soort brandstof

In bijlage 2 wordt de volledige lijst gegeven van productie-installaties die biomassa (vast, vloeibaar of gasvormig) verbranden waaraan groenestroomcertificaten worden toegekend (bron: VREG).

## 2.3. Milieu-juridische aspecten

### 2.3.1. VLAREM I

In VLAREM I wordt vastgelegd voor welke inrichtingen een vergunning of melding vereist is, wie ze moet aanvragen en tot welke overheid men zich moet richten. Milieuvergunningen die op basis van VLAREM I worden uitgereikt integreren verschillende milieuhygiënische vergunningen zoals ondermeer de exploitatievergunning, de lozingsvergunning, de vergunning voor het vernietigen van giftig afval, de vergunning voor de verwijdering van afvalstoffen ed.

Alle hinderlijke inrichtingen zijn ondergebracht in de indelingslijst. Deze lijst is opgenomen in bijlage 1 van VLAREM I, en vormt het hart van de milieureglementering.

Inrichtingen voor het *verwerken van afvalstoffen* vallen onder *rubriek 2* van de indelingslijst. Inrichtingen voor het *ver- en bewerken van dierlijke mest* worden geregeld onder *rubriek 28.3*. *Motoren met inwendige verbranding* zijn ingedeeld onder *rubriek 31*, en *verbrandingsinstallaties* onder *rubriek 43*.

Tabel 4 geeft de betreffende rubrieken uit de indelingslijst van VLAREM I betreffende als hinderlijk beschouwde inrichtingen weer die mogelijk relevant zijn verbrandingsinstallaties op hernieuwbare brandstoffen.

**Tabel 4: Uittreksel van de betreffende rubrieken uit de indelingslijst van VLAREMI**

Rubriek	Omschrijving en Subrubrieken	Klasse	Bemerkingen	Coördinator	Audit	Jaarverslag
2.	<b>Afvalstoffen</b> inrichtingen voor de verwerking van afvalstoffen overeenkomstig het decreet van 2 juli 1981 betreffende de voorkoming en het beheer van afvalstoffen en zijn uitvoeringsbesluiten.					
2.3	<b>Opslag en verwijdering van afvalstoffen</b> <i>Alle inrichtingen onder 2.3. zijn inrichtingen waarin handelingen gebeuren die leiden tot de vernietiging of de definitieve opslag in of op de bodem van afvalstoffen.</i> <i>Het verbranden [en meeverbranden] van afvalstoffen al of niet met terugwinning van energie en/of stoffen alsook het reinigen van recipienten door uitbranden, zijn gangenschikt onder deze rubriek 2.3.</i>					
2.3.4.	Opslag en verbranding of meeverbranding, al dan niet als experiment, met of zonder energiewinning en met of zonder terugwinning van stoffen van:  Uitzondering: 1. Het verbranden van onbehandeld stukhout in houtkachels voor de verwarming van woonverblijven en werkplaatsen, in steerverwarmers en gelijksoortige toestellen met een nominaal thermisch vermogen van maximaal 300 kW, is geen inrichting voor de verwerking van afvalstoffen.					
2.3.4.1.	Opslag en verbranding van: a) Biomassa-afval: 1. - plantaardig afval van land- en bosbouw - plantaardig afval van de levensmiddelenindustrie - vezelachtig afval afkomstig van de productie van ruwe pulp en van de productie van papier uit pulp, dat op de plaats van productie wordt meeverbrand en waarvan de vrijgekomen energie wordt teruggewonnen - kuikafval - onbehandeld houtafval, met een nominaal thermisch vermogen van 1) tot en met 5 MW 2) meer dan 5 MW 2. niet verontreinigd behandeld houtafval, met een nominaal thermisch vermogen van 1) tot en met 5 MW 2) meer dan 5 MW b) verontreinigd behandeld houtafval l) dierlijk afval met uitzondering van krenten in dierencrematoria m) Waterzuiveringsstib	2 1  2 1 1 1 1	G,O,T M,G,O,T  M,G,O,T M,G,O,T G,M,O,T G,M,O,T,[...] G,M,O,T,[...]	B B  B B B B	   P P	   J J

Rubriek	Omschrijving en Subrubrieken	Klasse	Bemerkingen	Coördinator	Audit	Jaarverslag
2.3.4.2.	Opslag en meeverbranding van: a) Biomassa-afval: 1. - plantaardig afval van land- en bosbouw - plantaardig afval van de levensmiddelenindustrie - vezelachtig afval afkomstig van de productie van ruwe pulp en van de productie van papier uit pulp, dat op de plaats van productie wordt meeverbrand en waarvan de vrijgekomen energie wordt teruggewonnen - kurkafval - onbehandeld houtafval, met een nominaal thermisch vermogen van 1) tot en met 5 MW 1) tot en met 5 MW 2) meer dan 5 MW 2. niet verontreinigd behandeld houtafval, met een nominaal thermisch vermogen van 1) tot en met 5 MW 2) meer dan 5 MW b) verontreinigd behandeld houtafval f) dierlijk afval met uitzondering van krengen in dierencrematoria g) waterzuiveringsstib <b>Mest of meststoffen</b>	2 1  2 1 1 1 1 1	G,O,T M,G,O,T  M,G,O,T M,G,O,T G,M,O,T G,M,O,T,[...] G,M,O,T,[...]	B  B B B	   P P	   J J
28.	<b>Mest of meststoffen</b>					
28.3.	Inrichtingen waar dierlijke mest bewerkt of verwerkt wordt, met uitzondering van de installaties voor de bewerking en/of verwerking van dierlijke mest zoals bedoeld in de rubrieken 9.3 tot en met 9.8, met een bewerkings- of verwerkingscapaciteit op jaarbasis van: [2 ton tot en met 1.000 ton mest] [1.000 ton tot en met 25.000 ton mest] [meer dan 25.000 ton mest]	[2] [1] [1]	[L] [L] [L]		[P] [P]	[J]  [J]
31.	<b>Motoren (machines) met inwendige verbranding</b> (voor machines met elektriciteitsproductie, voor het gedeelte elektriciteitsproductie: zie rubriek 12.1.)					
31.1.	Vast opgestelde motoren met een totaal nominaal vermogen van: Opmerkingen: De motoren, vallend onder de toepassing van rubriek 15.5 en rubriek 19.8, zijn niet ingedeeld in onderhavige rubriek. De in deze rubriek vermelde gebieden betreffen de gebieden zoals bepaald door de stedenbouwkundige voorschriften van een goedgekeurd plan van aanleg, een ruimtelijk uitvoeringsplan of een behoorlijk vergunde, niet vervallen verkavelingsvergunning.					
1°	a) 10 kW tot en met 300 kW, wanneer de inrichting volledig is gelegen in een industriegebied	3				

Rubriek	Omschrijving en Subrubrieken	Klasse	Bemerkingen	Coördinator	Audit	Jaarverslag
2°	b) 10 kW tot en met 100 kW, wanneer de inrichting volledig of gedeeltelijk is gelegen in een gebied ander dan industriegebied					
	a) meer dan 300 kW tot en met 500 kW wanneer de inrichting volledig is gelegen in een industriegebied	2	T	d		
	b) meer dan 100 kW tot en met 500 kW, wanneer de inrichting volledig of gedeeltelijk is gelegen in een gebied ander dan industriegebied					
	3° meer dan 500 kW	1	T	N		
4°	Turbines met een hoeveelheid vrijkomende warmte van meer dan 50 MW Er kan overlapping zijn met sub 3°.	1	M,X	B	P	J,[R]
<b>43.</b>	<b>Verbrandingsinrichtingen</b> <i>Verbrandingsinrichtingen waarin afvalstoffen worden verwerkt of worden verbrand zijn uitsluitend ingedeeld in rubriek 2.3.4. Indien afvalstoffen worden gebruikt als hulp- of toevoegbrandstof zijn zowel de rubrieken 2.3.4. als 43. van toepassing</i>					
43.1.	Verbrandingsinrichtingen zonder elektriciteitsproductie (stookinstallaties e.d.), met een totaal warmtevermogen van: Opmerkingen: De stookinstallaties, vallend onder de toepassing van rubriek 15.5 en rubriek 19.8, zijn niet ingedeeld in onderhavige rubriek. De in deze rubriek vermelde gebieden betreffen de gebieden zoals bepaald door de stedenbouwkundige voorschriften van een goedgekeurd plan van aanleg, een ruimtelijk uitvoeringsplan of een behoorlijk vergunde, niet vervallen verkavelingsvergunning.					
1°	a) 300 kW tot en met 2.000 kW wanneer de inrichting: i) Volledig gelegen is in een industriegebied ii) en gestookt wordt met vloeibare brandstoffen, aardgas of vloeibaar gemaakt gas	3				
2°	b) 300 kW tot en met 500 kW in de gevallen andere dan vermeld sub a)	3				
	a) meer dan 2.000 kW tot en met 5.000 kW, wanneer het een inrichting betreft vermeld sub 1°, a)	2				
3°	b) meer dan 500 kW tot en met 5.000 kW in de gevallen andere dan vermeld sub 1°, a)	2				
	meer dan 5.000 kW	1	M	B	P	J
43.2.	Verbrandingsinrichtingen met elektriciteitsproductie (thermische centrales), met inbegrip van het ombouwen ervan op een andere brandstof, met een totaal warmtevermogen van: 1° 300 kW tot en met 5.000 kW 2° meer dan 5.000 kW					
1°	300 kW tot en met 5.000 kW	2				
2°	meer dan 5.000 kW	1	M	B	P	J

Rubriek	Omschrijving en Subrubrieken	Klasse	Bemerkingen	Coördinator	Audit	Jaarverslag
43.3.	Stookinstallaties met een hoeveelheid vrijkomende warmte van meer dan 50 MW <i>Er kan overlapping zijn met de rubrieken 43.1 en 43.2.</i>	1	M,X	B	P	J, [R]
43.4.	Verbrandingsinstallaties (inclusief motoren) met een totaal thermisch ingangsvermogen van meer dan 20 MW met uitzondering van installaties voor het verbranden van gevaarlijke stoffen of stadsafval. <i>Er kan een overlapping zijn met rubriek 31.1., 43.1., 43.2 en 43.3.</i>	1	M,Yk			J

G = Inrichting waarvoor de Afdeling Preventieve en Sociale Gezondheidszorg van de Administratie Gezondheidszorg advies verstrekt.

L = Inrichting waarvoor de Vlaamse Landmaatschappij advies verstrekt.

M = Inrichting waarvoor de Vlaamse Milieumaatschappij advies verstrekt.

O = Inrichting waarvoor de Openbare Afvalstoffenmaatschappij voor het Vlaams Gewest advies verstrekt.

T = Inrichting waarvoor een tijdelijke vergunning kan worden verkregen.

W = Inrichting waarvoor de Afdeling Water van de Administratie Milieu-, Natuur-, Land en Waterbeheer advies verstrekt.

X = Inrichting die een GPBV-installatie betreft zoals gedefinieerd door sub 16° van artikel 1 van titel I van het VLAREM en die als dusdanig tevens onder de toepassing valt van de bepalingen van de titels I en II van het VLAREM inzake geïntegreerde preventie en bestrijding van verontreiniging als bedoeld in de EU-richtlijn 96/61/EEG van 24 september 1996.

Dergelijke inrichting omvat telkens de vaste technische eenheid waarin de in de overeenkomstige tweede kolom vermelde activiteiten en processen alsmede andere daarmee rechtstreeks samenhangende activiteiten plaatsvinden, die technisch in verband staan met de op die plaats ten uitvoer gebrachte activiteiten en die gevolgen kunnen hebben voor de emissies en de verontreiniging (zie ook artikel 5, § 7 van titel I van het VLAREM).

Y = een inrichting zoals gedefinieerd in artikel 1, 38°, van titel I van het VLAREM.

Een dergelijke inrichting omvat telkens de vaste technische eenheid waarin de in de overeenkomstige tweede kolom van de indelingslijst vermelde activiteiten en processen, alsmede andere daarmee samenhangende activiteiten plaatsvinden, die technisch in verband staan met de op die plaats ten uitvoer gebrachte activiteiten en die gevolgen kunnen hebben voor de emissies en de verontreiniging (zie ook artikel 5, § 8, van titel I van het VLAREM).

De subindexen hebben betrekking op het soort broeikasgas waarvoor de in titel I en II van het VLAREM gestelde verplichtingen gelden:

a)  $Y_c$  heeft betrekking op de emissies van koolstofdioxide ( $CO_2$ );

b)  $Y_m$  heeft betrekking op de emissies van methaan ( $CH_4$ );

c)  $Y_d$  heeft betrekking op de emissies van distikstofoxide ( $N_2O$ );

d)  $Y_f$  heeft betrekking op de emissies van fluorkoolwaterstoffen (HFK's);

e)  $Y_p$  heeft betrekking op de emissies van perfluorkoolstoffen (PFK's);

f)  $Y_z$  heeft betrekking op de emissies van zwavelhexafluoride ( $SF_6$ ).

Inrichtingen of onderdelen ervan die gebruikt worden voor onderzoek, ontwikkeling en beproeving van nieuwe producten en processen, worden geacht niet ingedeeld te zijn met de vermelding Y.

A = Inrichting waarvoor overeenkomstig titel II van het VLAREM een milieucoördinator van het eerste niveau dient aangesteld.

B = Inrichting waarvoor overeenkomstig titel II van het VLAREM een milieucoördinator van het tweede niveau dient aangesteld.

N = Inrichting waarvoor overeenkomstig titel II van het VLAREM vrijstelling is verleend van de verplichting tot aanstelling van een milieucoördinator.

P = Inrichting waarvoor overeenkomstig titel II van het VLAREM door de vergunningverlenende overheid een periodieke milieuaudit kan worden opgelegd.

J = Inrichting waarvoor overeenkomstig titel II van het VLAREM een milieujaarverslag moet worden ingediend.

[R = Inrichting waarvoor de exploitant op grond van de Verordening nr. 1666/2005 van het Europees Parlement en de Raad van 18 januari 2006 jaarlijks moet rapporteren op basis van metingen, berekeningen of ramingen voor de stoffen, vermeld in de verordening, overeenkomstig de in verordening vermelde drempelwaarden.]

### 2.3.2. VLAREM II

Vergunnings- of meldingsplichtige inrichting moet voldoen aan bepaalde milieuvorwaarden. Er worden drie soorten milieuvorwaarden onderscheiden:

- Algemene milieuvorwaarden,
- Sectorale milieuvorwaarden,
- Bijzondere milieuvorwaarden,

De *algemene milieuvorwaarden*, opgenomen in deel 4 van VLAREM II, zijn van toepassing op alle hinderlijke inrichtingen. Ze bevatten enerzijds maatregelen die noodzakelijk zijn voor de bescherming van de verschillende milieucompartmenten. Anderzijds bevatten ze een aantal algemene voorschriften. Deze algemene voorschriften hebben ondermeer betrekking op het toepassen van BBT, hygiëne-, risico- en hinderbeheersing, meet- en registratieverplichtingen, beheer van afvalstoffen enz.

De algemene milieuvorwaarden die van toepassing (kunnen) zijn voor de installaties op hernieuwbare brandstoffen zijn deze inzake:

- opslag van gevaarlijke stoffen (Hfdst.4.1.7);
- beheersing van oppervlaktewaterverontreiniging (Hfdst 4.2);
- beheersing van bodem- en grondwaterverontreiniging (Hfdst. 4.3);
- beheersing van luchtverontreiniging (Hfdst. 4.4);
- beheersing van geluidshinder (Hfdst. 4.5);
- energieplanning (Hfdst 4.9).

De *sectorale milieuvorwaarden* zijn opgenomen in deel 5 van VLAREM II. Dit zijn specifieke voorschriften die van toepassing zijn op welbepaalde hinderlijke inrichtingen en kunnen zowel strenger als minder streng zijn dan de algemene milieuvorwaarden. Deze sectorale voorwaarden primeren op de algemene voorwaarden. Als er andere, niet in de sectorale voorwaarden opgenomen parameters voor de betrokken sector relevant zijn, gelden de algemene milieuvorwaarden uit deel 4..Sectorale milieuvorwaarden die van toepassing (kunnen) zijn voor de installaties op hernieuwbare brandstoffen zijn deze inzake:

- Hfdst. 5.2: inrichtingen voor de verwerking van afvalstoffen;
- Hfdst. 5.3: het lozen van afvalwater en koelwater;
- Hfdst. 5.12: elektriciteit;
- Hfdst. 5.16: gassen;
- Hfdst. 5.17: opslag van gevaarlijke stoffen;
- Hfdst. 5.28: minerale meststoffen en dierlijke mest;
- Hfdst. 5.31: motoren met inwendige verbranding;
- Hfdst. 5.43: niet in rubriek 2 en 28 begrepen verbrandingsinrichtingen.

*Bijzondere milieuvorwaarden* zijn specifieke voorwaarden die worden opgelegd voor een bepaalde exploitatieplaats. Ze worden opgelegd door de vergunningverlenende overheid aan een specifiek bedrijf. Ze vullen voorgaande voorwaarden aan en/of verstrengen ze.

#### 2.3.2.1. Algemene milieuvorwaarden

De belangrijkste algemene voorwaarden voor deze studie worden hieronder besproken.

##### a) *Beheersing van oppervlaktewaterverontreiniging*

De bepalingen van hoofdstuk 4.2 van VLAREM II zijn van toepassing op de lozing van bedrijfsafvalwater en koelwater zoals bedoeld in ondermeer rubrieken 3.1, 3.4 en 3.5 zoals gegeven in

bijlage 1 van VLAREM I. De afvoer van koelwater en hemelwater enerzijds en bedrijfsafvalwater anderzijds mag, behoudens technische moeilijkheden, niet via dezelfde openbare rioleering gebeuren. Noch het koelwater noch het bedrijfsafvalwater mag ongezuiverd in het oppervlaktewater worden geloosd. Onder geen beding mag het afvalwater gevaarlijke stoffen bevatten (vermeld in bijlage 2C van VLAREM).

Algemene lozingsnormen worden opgelegd voor ondermeer:

- Bedrijfsafvalwater dat geen gevaarlijke stoffen bevat (afdeling 4.2.2);
- Bedrijfsafvalwater dat één of meer gevaarlijke stoffen bevat (afdeling 4.2.3);
- Koelwater (afdeling 4.2.4);

### **b) Beheersing van luchtverontreiniging**

Artikel 4.4.2.1 van Vlarem II, betreffende de toepassing van Beste Beschikbare Technieken (BBT), is van specifiek belang voor deze studie en luidt als volgt:

*‘De installaties dienen ontworpen, gebouwd en geëxploiteerd volgens een code van goede praktijk derwijze dat de van deze installaties afkomstige luchtverontreiniging maximaal wordt beperkt en zo mogelijk zelfs wordt voorkomen.*

*De installaties zullen daartoe worden uitgerust en geëxploiteerd met middelen ter beperking van de emissies die met de beste beschikbare technieken overeenkomen. De emissiebeperkende maatregelen dienen te zijn gericht zowel op een vermindering van de massaconcentratie als ook van de massastromen of massaverhoudingen van de van de installatie uitgaande luchtverontreiniging. Daarbij moet inzonderheid rekening gehouden worden met:*

1. *maatregelen ter vermindering van de hoeveelheid afvalgas, zoals inkapselen van installatiedelen, doelgericht opvangen van stromen afvalgas, enz.;*
2. *maatregelen ter optimalisering van de gebruikte stoffen en energie;*
3. *maatregelen ter optimalisering van de handelingen voor opstarten en stilleggen en overige bijzondere bedrijfsomstandigheden’*

De afvalgassen dienen opgevangen te worden op de plaats waar ze ontstaan en kunnen, na de eventueel noodzakelijke zuivering, in de omgevingslucht worden geloosd indien de van toepassing zijnde emissie- en immissievoorschriften zijn nageleefd (art.4.4.2.2.).

Bij lozing via een schoorsteen voldoende hoog te zijn met het oog op een vanuit milieu-oogpunt en voor de volksgezondheid voldoende spreiding van de geloosde stoffen (art. 4.4.2.3.).

Artikel 4.4.3.1. verwijst naar de in bijlage 4.4.2. opgenomen emissiegrenswaarden, uitgedrukt in mg/Nm<sup>3</sup> en die betrekking hebben op geleide emissies in de volgende omstandigheden: temperatuur 0° C, druk 101,3 kPa, droog gas, van toepassing op de geloosde afvalgassen. De luchthoeveelheden die naar een onderdeel van de installatie worden toegevoerd om het afvalgas te verdunnen of af te koelen, blijven bij de bepaling van de emissiewaarden buiten beschouwing. Bij toepassing van de BBT kunnen in de milieuvergunning afwijkende emissiegrenswaarden worden opgelegd.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de algemene emissiegrenswaarden die van toepassing kunnen zijn op de geloosde afvalgassen van stationaire motoren en stookinstallaties, indien de parameter niet sectoraal genormeerd werd.



**Tabel 5:** Overzicht van de algemene emissiegrenswaarden van toepassing op de geloosde afvalgassen van stookinstallaties (bijlage 4.4.2 van VLAREM II) welke van toepassing zijn indien hiervoor geen sectorale normen zijn opgesteld

Parameter	Emissiegrenswaarde	Geen sectorale norm opgesteld voor
6° de volgende stoffen bij een massastroom van 0,5 g/u of meer: – benzo(a)pyreen – dibenzo(a,h)antraceen	0,1 mg/m <sup>3</sup> 0,1 mg/m <sup>3</sup>	x x
12° de volgende stofvormige anorganische stoffen bij een massastroom van 1 g/u of meer: – cadmium en zijn verbindingen (uitgedrukt in Cd) – kwikzilver en zijn verbindingen (uitgedrukt in Hg)	0,2 mg/m <sup>3</sup> 0,2 mg/m <sup>3</sup>	x x
13° de volgende stofvormige anorganische stoffen bij een massastroom van 5 g/u of meer: – arseen en zijn verbindingen (uitgedrukt in As) – nikkel en zijn verbindingen (uitgedrukt in Ni)	1,0 mg/m <sup>3</sup> 1,0 mg/m <sup>3</sup>	x x <sup>a</sup>
14° de volgende stofvormige anorganische stoffen bij een massastroom van 25 g/u of meer: – lood en loodverbindingen (uitgedrukt in Pb) – chroom en zijn verbindingen (uitgedrukt in Cr) – licht oplosbare fluoride en zijn verbindingen (uitgedrukt in F) – koper en zijn verbindingen (uitgedrukt in Cu) – mangaan en zijn verbindingen (uitgedrukt in Mn) – vanadium en zijn verbindingen (uitgedrukt in V)	5,0 mg/m <sup>3</sup> 5,0 mg/m <sup>3</sup> 5,0 mg/m <sup>3</sup> 5,0 mg/m <sup>3</sup> 5,0 mg/m <sup>3</sup> 5,0 mg/m <sup>3</sup> 5,0 mg/m <sup>3</sup>	x x x <sup>b</sup> x x x x <sup>c</sup>

Opmerking:

- a) Er zijn wel sectorale normen voor nikkel voor nieuwe stookinstallaties op vloeibare brandstoffen
- b) Er zijn wel sectorale normen voor fluoriden voor nieuwe stookinstallaties op vaste brandstoffen
- c) Er zijn wel sectorale normen voor vanadium voor nieuwe stookinstallaties op vloeibare brandstoffen

### c) *Beheersing van geluidshinder*

Volgens art. 4.5.1.1 van VLAREM II dient de exploitant de nodige maatregelen te treffen om de geluidsproductie aan de bron en de geluidsoverdracht naar de omgeving te beperken. Naargelang van de omstandigheden en op basis van de technologisch verantwoorde mogelijkheden volgens de BBT wordt hierbij gebruikgemaakt van een oordeelkundige (her)schikking van de geluidsbronnen, geluidsarme installaties en toestellen, geluidsisolatie en/of absorptie en/of afscherming.

In afdelingen 4.5.3 en 4.5.4. zijn de algemene geluidsvoorschriften voor respectievelijk nieuwe en bestaande klasse 1 en 2 inrichtingen opgenomen. Afdeling 4.5.5 geeft de algemene geluidsvoorschriften voor klasse 3 inrichtingen.

Deze voorschriften, vermelden ondermeer normen voor het toegelaten specifiek geluid van bestaande en nieuwe inrichtingen. Voor klasse 1 en 2 inrichtingen is in deze voorschriften ook opgelegd dat indien een akoestisch onderzoek uitwijst dat het specifieke geluid van een bestaande inrichting de geldende richtwaarde met 10 dB(A) overschrijdt de betrokken inrichting een saneringsplan moet opstellen en uitvoeren. Hierbij dient rekening te worden gehouden met de BBT.

**Tabel 6:** Richtwaarden voor het specifieke geluid in open lucht van als hinderlijk ingedeelde inrichtingen (bijlage 4.5.4. van VLAREM II)

Gebied	Milieukwaliteitsnormen in dB(A) in open lucht		
	overdag	's avonds	's nachts
1° Landelijke gebieden en gebieden voor verblijfsrecreatie	40	35	30
2° Gebieden of delen van gebieden op minder dan 500m gelegen van industriegebieden niet vermeld sub 3° of van gebieden voor gemeenschapsvoorzieningen en openbare nutsvoorzieningen	50	45	45
3° Gebieden of delen van gebieden op minder dan 500m gelegen van gebieden voor ambachtelijke bedrijven en kleine en middelgrote ondernemingen, van dienstverleningsgebieden of van ontginningsgebieden, tijdens de ontginning	50	45	40
4° Woongebieden	45	40	35
5° Industriegebieden, dienstverleningsgebieden, gebieden voor gemeenschapsvoorzieningen en openbare nutsvoorzieningen en ontginningsgebieden tijdens de ontginning	60	55	55
6° Recreatiegebieden, uitgezonderd gebieden voor verblijfsrecreatie	50	45	40
7° Alle andere gebieden, uitgezonderd: bufferzones, militaire domeinen deze waarvoor in bijzondere besluiten richtwaarden worden vastgelegd	45	40	35
8° Bufferzones	55	50	50
9° Gebieden of delen van gebieden op minder dan 500m gelegen van voor grondwinning bestemde ontginningsgebieden tijdens de ontginning	55	50	45

Opmerking: als een gebied valt onder twee of meer punten van de tabel dan is in dat gebied de hoogste richtwaarde van toepassing

### 2.3.2.2. Sectorale milieuvorwaarden

De belangrijkste sectorale voorwaarden voor deze studie worden hieronder besproken.

Voor **inrichtingen voor de verwerking van afvalstoffen** (hoofdstuk 5.2) gelden *algemene sectorale bepalingen* opgenomen in afdeling 5.2.1. Deze bepalingen omvatten voorwaarden betreffende ondermeer de aanvaarding van afvalstoffen, de inrichting en infrastructuur en de uitbating. Er worden ondermeer sectorale bepalingen opgelegd voor de milieucompartimenten bodem, water, lucht, geluid, trillingen en geur.

In artikel 5.2.1.6 worden een aantal maatregelen opgelegd betreffende de uitbating van de installatie. In wat volgt worden de paragrafen welke van belang zijn voor de verschillende milieucompartimenten kort aangehaald. Paragraaf 3 stelt dat de exploitant *geur* en *emissies* moet voorkomen en bestrijden. In § 4 wordt opgelegd dat, om *geluidshinder* te voorkomen, rustversturende werkzaamheden verboden zijn gedurende welbepaalde perioden. Volgens § 5 moet de exploitant de vereiste schikkingen treffen om te voorkomen dat *trillingen* die verbonden zijn aan de uitbating schade of overlast bezorgen aan gebouw of omgeving. Paragraaf 8 tot slot stelt dat het *afvalwater* dat in de inrichting ontstaat dient te worden opgevangen, op gepaste wijze moet worden behandeld, en indien mogelijk, opnieuw moet worden gebruikt. Daarenboven mag nog te behandelen afvalwater niet in contact staan met oppervlaktewater of een riool.

Artikel 5.2.1.7 legt in § 3 op dat lekkage van milieuschadelijke vloeistoffen naar *bodem, grond- of oppervlaktewater* moet worden voorkomen. In § 4 van hetzelfde artikel wordt daarenboven opgelegd dat de afwatering op die manier moet worden uitgevoerd dat verontreiniging van hemelwater zo veel mogelijk wordt voorkomen. Dat dit hemelwater niet gemengd mag worden met te behandelen afvalwater en dat zuiver hemelwater daar waar mogelijk wordt gebruikt voor de waterbevoorrading van de inrichting.

Deze algemene sectorale bepalingen worden aangevuld met specifieke voorwaarden die gelden voor *verbrandings- en meeverbrandingsinstallaties voor afvalstoffen*, opgenomen in afdeling 5.2.3bis. De algemeen geldende voorwaarden voor verbrandings- en meeverbrandingsinstallaties worden ingedeeld onder subafdeling 5.2.3bis1. Deze subafdeling is ondermeer van toepassing op inrichtingen die zijn ingedeeld volgens volgende rubrieken:

- 2.3.4.1, b, l en m;
- 2.3.4.2, b, f en g.

In subafdeling 5.2.3bis4 worden de voorwaarden weergegeven voor verbrandings- en meeverbrandingsinstallaties van biomassa-afval. De voorwaarden zijn van toepassing op inrichtingen die zijn ingedeeld in rubrieken

- 2.3.4.1, a en
- 2.3.4.2, a.

In beide subafdelingen worden voorwaarden gedefinieerd die in acht moeten worden genomen betreffende de aanvaarding en in ontvangstneming van de afvalstoffen, de uitbating van de installatie, emissiegrenswaarden, metingen, normoverschrijding en storingen, verwerking van de verbrandingsresten.

Voor installaties die zijn ingedeeld onder 5.2.3bis1 is er nog een bijkomend artikel over rapportage, informatie en inspraak. Dit artikel stelt dat de exploitant van de installatie jaarlijks een technisch rapport en een niet-technisch rapport moet opmaken. In deze rapporten moeten de activiteiten van het afgelopen jaar worden weergegeven. Het technische rapport is bedoeld voor de bevoegde overheden, het niet technische rapport voor het algemene publiek.

Voor installaties ingedeeld onder 5.2.3bis4 is er een extra artikel over energierecuperatie. Hierin wordt gesteld dat de warmte die wordt opgewekt volgens de BBT zo veel mogelijk nuttig moet worden gebruikt. Daarnaast wordt gesteld dat recente<sup>5</sup> grote installaties ( $\geq 50$  MW) voorzien moeten zijn van een WKK installatie. Er kan op deze regel een uitzondering worden gemaakt indien uit een studie blijkt dat dergelijke WKK economisch of technisch niet haalbaar is. Voor de emissiegrenswaarden wordt er in subafdeling 5.2.3bis4 bovendien nog onderscheid gemaakt tussen verbrandings- en meeverbrandingsinstallaties voor biomassa-afval uitgezonderd niet verontreinigd houtafval (5.2.3bis4.8-12) en niet verontreinigd houtafval (5.2.3bis4.13-18)

Er wordt in dit hoofdstuk geen onderscheid gemaakt naar de fase waarin het afval of biomassa-afval zich bevindt (vast-vloeibaar-gas).

Inrichtingen voor het **be- en verwerken van dierlijke meststoffen** worden gereguleerd onder hoofdstuk 5.28, afdeling 3. Onder deze afdeling worden voorwaarden opgelegd betreffende de aanvaarding, het werkplan en de uitbating van de installatie. Bovendien worden emissiegrenswaarden opgelegd voor verbrandingsinstallaties voor dierlijke mest. Deze installaties moeten voldoen aan de algemeen geldende voorwaarden voor verbrandings- en meeverbrandingsinstallaties zoals bepaald in subafdeling 5.2.3bis.1. Daarnaast moeten verbrandingsin-

<sup>5</sup> Eerste vergunning tot exploitatie aangevraagd op of na 27 november 2002 of installaties die na 27 november 2003 in gebruik werden genomen

stallaties voor dierlijke mest voldoen aan enkele specifieke (bijkomende) emissiegrenswaarden, namelijk halfuurgemiddelden voor  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  en  $\text{NO}_x$ .

Voor *motoren met inwendige verbranding* gelden de bepalingen van hoofdstuk 5.31. De bepalingen van dit hoofdstuk zijn van toepassing op vast opgestelde *gas- en dieselmotoren*, al dan niet met elektriciteitsproductie en al dan niet in WKK toepassingen. Er wordt onderscheid gemaakt tussen machines met  $\geq 360$  bedrijfsuren per jaar, en machines met  $< 360$  bedrijfsuren per jaar. De sectorale voorwaarden die worden bepaald in dit hoofdstuk hebben allen betrekking op emissiegrenswaarden. Er wordt onderscheid gemaakt tussen gasmotoren en dieselmotoren. Bij gasmotoren worden aparte emissiegrenswaarden gegeven voor installaties die met biogas gestookt worden.

Voor gasturbines en stoom- en gasturbine installaties gelden de bepalingen van hoofdstuk 5.43.

Voor *stookinstallaties, gasturbines en stoom- en gasturbine-installaties* gelden de bepalingen van hoofdstuk 5.43. De bepalingen van dit hoofdstuk zijn van toepassing op de verbrandingsinrichtingen, al dan niet met elektriciteitsproductie en al dan niet in warmtekrachtoepassing, met uitzondering van de volgende installaties:

- installaties waarin de verbrandingsproducten worden gebruikt voor directe verwarming, droging of enige andere behandeling van voorwerpen of materialen, bij voorbeeld herverhittingsovens en ovens voor warmtebehandeling;
- naverbrandingsinstallaties, dat zijn technische voorzieningen voor de zuivering van rookgassen door verbranding, die niet als autonome stookinstallatie worden geëxploiteerd;
- installaties voor het regenereren van katalysatoren voor het katalytisch kraakproces;
- installaties om zwavelwaterstof om te zetten in zwavel;
- reactoren, gebruikt in de chemische industrie;
- cokesbatterijovens;
- windverhitters van hoogovens.

De voorwaarden die in dit hoofdstuk worden bepaald hebben betrekking op emissiegrenswaarden en immissiecontroleprocedures.

Voor wat betreft de *stookinstallaties* wordt er onderscheid gemaakt tussen kleine (0,3 tot 5 MW), middelgrote (5-50 MW) en grote ( $> 50$  MW) installaties. Er wordt onderscheid gemaakt naar het type brandstof dat gestookt wordt in de verschillende installaties (vast, vloeibaar, gas en biomassa) en volgens de datum waarop de eerste vergunning werd verleend aan de installatie. Voor installaties gestookt op biomassa wordt integraal verwezen naar hoofdstuk 5.2, artikel 5.2.3bis4.9 (emissiegrenswaarden voor verbrandings- en meeverbrandingsinstallaties die biomassa-afval, uitgezonderd niet verontreinigd houtafval, verbranden). Voor middelgrote stookinstallaties gestookt met gas met een thermisch vermogen van 5 tot 50 MW worden aparte emissiegrenswaarden gedefinieerd voor biogas.

Voor *gasturbines en stoom en gasturbines* wordt onderscheid gemaakt naar thermisch vermogen van de installatie, de gebruikte brandstof (vloeibaar of gasvormig), aantal draaiuren per jaar van de installatie en de datum van eerste ingebruikname.

### 2.3.2.3. Emissiegrenswaarden

In wat volgt wordt een overzicht gegeven van de emissiegrenswaarden voor installaties waarin hernieuwbare brandstoffen worden verbrand die momenteel opgenomen zijn in VLAREM II.

Voor de monoverbranding van *vaste hernieuwbare brandstoffen* zijn verschillende emissiegrenswaarden van toepassing afhankelijk van het type installatie waarin de brandstof wordt

verwerkt en van de definitie waaronder de brandstof valt volgens VLAREM. Voor biomassa en biomassa-afval gelden dezelfde emissiegrenswaarden. De emissiegrenswaarden worden opgesplitst naar gelang het vermogen van de installatie. Er wordt onderscheid gemaakt tussen kleine (< 5MW), middelgrote (5 tot 50 MW) en grote installaties (> 50 MW). Ook voor niet verontreinigd behandeld houtafval wordt deze opdeling gehanteerd. Voor installaties waarin afval en mest wordt verwerkt zijn de emissiegrenswaarden niet afhankelijk van het vermogen van de installatie.

De emissiegrenswaarden zijn gelijk voor biomassa/biomassa-afval en niet verontreinigd behandeld houtafval voor de pollutanten totaal stof, CO, NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub> voor installaties met gelijke vermogens. Voor installaties waarin niet verontreinigd behandeld houtafval, afval en mest wordt verwerkt zijn er bijkomende emissiegrenswaarden<sup>6</sup> voor HCl, TOC, HF en zware metalen. Er worden bijkomende emissiegrenswaarden opgelegd voor de pollutanten NH<sub>3</sub> en H<sub>2</sub>S voor verbrandingsinstallaties voor mest.

De emissiegrenswaarden voor afval en mest zijn voor de meeste parameters in dezelfde grootteorde als die voor grote installaties op biomassa-afval en niet verontreinigd behandeld houtafval. Uitzonderingen zijn CO en NO<sub>x</sub>. Voor CO zijn de emissiegrenswaarden strenger voor installaties waarin afval of mest wordt verbrand. Voor NO<sub>x</sub> wordt ook bij installaties voor de verbranding van afval rekening gehouden met de capaciteit van de installatie. Daarnaast speelt ook de datum van in gebruik nemen van de installatie een rol voor het bepalen van de geldende emissiegrenswaarden.

In Tabel 7 wordt een overzicht gegeven van de geldende emissiegrenswaarden.

---

<sup>6</sup> Uitzonderd voor kleine installaties waarin niet verontreinigd behandeld houtafval wordt verwerkt. Voor deze installaties wordt enkel voor HCl een emissiegrenswaarde gedefinieerd.

**Tabel 7: Emissiegrenswaarden voor vaste hernieuwbare brandstoffen in VLAREM II**  
(art. 5.2.3bis1.15, art. 5.2.3bis4.9, art. 5.2.3bis4.15, art. 5.28.3.5.1)

Vermogen	tot en met 5 MW		5 tot 50 MW		50 MW of meer		alle installaties	alle installaties
	Biomassa-aVal	Niet verontreinigd houtaVal	Biomassa-aVal	Niet verontreinigd houtaVal	Biomassa-aVal	Niet verontreinigd houtaVal		
Brandstof								
11% O <sub>2</sub> ; droge rookgassen								
<b>Verontreinigende stof</b>								
totaal stof	mg/Nm <sup>3</sup>	150	30	30	10	10	10	10
CO	mg/Nm <sup>3</sup>	250	200	200	100	100	50	50
NO <sub>x</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	400	400/200 (3)	400/200 (3)	200/130 (4)	200/130 (4)	-	200(RW 100)
- voor bestaande verbrandingsinstallaties met een nominale capaciteit van 6 ton/uur of minder	mg/Nm <sup>3</sup>	-	-	-	-	-	400	-
- voor bestaande verbrandingsinstallaties met een nominale capaciteit van meer dan 6 ton/uur en voor nieuwe verbrandingsinstallaties van 6 ton/uur of minder	mg/Nm <sup>3</sup>	-	-	-	-	-	200	-
- voor nieuwe verbrandingsinstallaties met een nominale capaciteit van meer dan 6 ton/uur (5)	mg/Nm <sup>3</sup>	-	-	-	-	-	150	-
S02	mg/Nm <sup>3</sup>	300	300	300	50	50	50	50
Dioxinen en furanen (1)	ng TEC/Nm <sup>3</sup>	-	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
TOC	mg/Nm <sup>3</sup>	-	-	20	-	10	10	10
HF	mg/Nm <sup>3</sup>	-	-	2	-	1	1	1
HCl		-	50	50	-	10	10	10
Zware metalen (2)		-	-	-	-	-	-	-
Cd en Tl	mg/Nm <sup>3</sup>	-	-	0,1	-	0,05	0,05	0,05
Hg	mg/Nm <sup>3</sup>	-	-	0,1	-	0,05	0,05	0,05
Overige zware metalen	mg/Nm <sup>3</sup>	-	-	1,5	-	0,5	0,5	0,5

Vermogen	tot en met 5 MW		5 tot 50 MW		50 MW of meer		alle installaties	alle installaties
	Biomassa-afval	Niet verontreinigd houtafval	Biomassa-afval	Niet verontreinigd houtafval	Biomassa-afval	Niet verontreinigd houtafval	afval (6)	mest (7)
Brandstof								
NH3	mg/Nm3							50
H2S	mg/Nm3							5

- (1) De gemiddelden worden bepaald over een bemonsteringsperiode van minimaal zes uur en maximaal acht uur. De emissiegrenswaarde heeft betrekking op de totale concentratie van dioxinen en furanen, berekend aan de hand van het begrip 'toxische equivalentie'. Voor de continue bemonstering van dioxinen en furanen geldt 0,1 ng TEQ/Nm<sup>3</sup> als drempelwaarde
- (2) Gemiddelde waarden over een bemonsteringsperiode van minimaal dertig minuten en maximaal acht uur
- (3) Nominiaal thermisch vermogen tot en met 30 MW / groter dan 30 MW
- (4) Nominiaal thermisch vermogen tot en met 300 MW / groter dan 300 MW
- (5) Voor nieuwe verbrandingsinstallaties met een nominale capaciteit van meer dan 6 ton/uur geldt tevens een emissiegrenswaarde voor NO<sub>x</sub> van 125 mg/Nm<sup>3</sup> als jaargemiddelde. Indien voor een nieuwe verbrandingsinstallatie een milieuvergunning vóór 28 december 2002 is verleend, gelden de emissiegrenswaarden voor NO<sub>x</sub> die bepaald werden in de milieuvergunning, waarbij het daggemiddelde niet meer dan 200 mg/Nm<sup>3</sup> mag bedragen.
- (6) Voor totaal stof, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, TOC, HF en HCl gelden de emissiegrenswaarden als daggemiddelden.
- (7) Voor NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub> en H<sub>2</sub>S gelden de emissiegrenswaarden als halfuurgemiddelden

Voor de monoverbranding van *vloeibare hernieuwbare brandstoffen* zijn er in VLAREM II geen specifieke emissiegrenswaarden opgenomen.

Recent (19-09-2008) werd aan VLAREM II wijzigingen hieromtrent aangebracht. Aan art. 5.2.3bis.4.9 (emissiegrenswaarden voor het verbranden en meeverbranden van biomassa-afval uitgez. niet verontreinigd behandeld houtafval) en art.5.2.3bis4.15 (emissiegrenswaarden voor het verbranden van niet verontreinigd behandeld houtafval) werd hetgeen volgt toegevoegd: *“Er wordt geacht dat ook aan de emissiegrenswaarden voor stof, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> en CO is voldaan wanneer de concentraties in de rookgassen lager liggen dan de emissiegrenswaarden vastgelegd in hoofdstuk 5.43 voor vaste en vloeibare fossiele brandstoffen rekening houdende met gelijkwaardige omstandigheden zoals het nominaal thermisch vermogen van de installatie, de fysische toestand van de brandstof, het tijdstip van verlenen van de eerste vergunning en de respectieve zuurstofgehalten waarbij de emissiegrenswaarden voor de fossiele brandstoffen zijn uitgedrukt.”*

Door toevoeging hiervan worden de emissiegrenswaarden voor het (mee-)verbranden van biomassa, biomassa-afval en niet verontreinigd behandeld houtafval gelijkgeschakeld aan de emissiegrenswaarden voor fossiele brandstoffen.

Wanneer vloeibare hernieuwbare stromen die als afval worden beschouwd verbrand worden (zoals dierlijke vetten, frituurvetten, ed.) moet aan de emissiegrenswaarden voor afvalverbranding (art. 5.2.3bis1.15) voldaan worden.

In onderstaande tabellen wordt een overzicht gegeven van de verschillende emissiegrenswaarden waaraan moet worden voldaan wanneer biomassa, biomassa-afval niet verontreinigd behandeld houtafval verbrand worden, zowel volgens rubriek 5.2.3bis4.9, 5.2.3bis 4.15 als 5.43. Voor de volledigheid worden in de tabel ook de geldende emissiegrenswaarde toegevoegd voor installaties waarin afval (art. 5.2.3bis1.15) of mest (5.28) wordt verbrand.



**Tabul 8:** *Overzicht emissiegrenswaarden voor vaste brandstoffen volgens artikel 5.2.3bis4.9, artikel 5.2.3bis4.15 en artikel 5.2.3bis 1.15 van VLAREM II*

	Vaste brandstoffen	6% O <sub>2</sub> *	stof	SO <sub>2</sub>	NOx	CO
< 5 MW	bestaande installaties, fossiele brandstof (5.43)	0,3-5	200	1250	800	250
	nieuwe installaties (vergunning vóór 27 november 2002 en die uiterlijk op 27 november 2003 in gebruik) fossiele brandstoffen (5.43)	0,3-2 (vergunning voor 1 jan 2005)	100	1250	500	250
		2-5 (vergunning voor 1 jan 2005)	100	1250	400	250
		0,3-5 (vergunning na 1 jan 2005)	100	1250	300	200
	Biomassa/ Biomassa-afval (5.2.3bis.4.9)	< 5	225	450	600	375
	Niet verontreinigd behandeld houtafval (5.2.3bis.4.15)	< 5	225	450	600	375
	afval (5.2.3bis.1.15) en mest (5.28)	< 5	15	75	600/300/225 <sup>1</sup>	75
	bestaande installaties, fossiele brandstof (5.43)	5-20	200	1250	800	250
	nieuwe installaties (vergunning vóór 27 november 2002 en die uiterlijk op 27 november 2003 in gebruik) fossiele brandstoffen (5.43)	5-20 (vergunning voor 1 jan 2005)	50	1250	400	250
	bestaande installaties, fossiele brandstof (5.43)	20-50	200	1250	600	250
5-50 MW	nieuwe installaties (vergunning vóór 27 november 2002 en die uiterlijk op 27 november 2003 in gebruik) fossiele brandstoffen (5.43)	20-50 (vergunning voor 1 jan 2005)	50	1250	400	250
	bestaande installaties, fossiele brandstof (5.43)	5-50 (vergunning na 1 jan 2005)	50	1250	300	200
	Biomassa/ Biomassa-afval (5.2.3bis.4.9)	5-50	45	450	600/300 <sup>2</sup>	300
	Niet verontreinigd behandeld houtafval (5.2.3bis.4.15)	5-50	45	450	600/300 <sup>2</sup>	300
	afval (5.2.3bis.1.15) en mest (5.28)	5-50	15	75	600/300/225 <sup>1</sup>	75
	bestaande installaties, fossiele brandstof (5.43)	50-100	100	1050	500	250
	nieuwe installaties (vergunning vóór 27 november 2002 en die uiterlijk op 27 november 2003 in gebruik) fossiele brandstoffen (5.43)	50-100	50	1050	400	250
	nieuwe installaties (vergunning op of na 27 nov 2002, of na 27 nov 2003 in gebruik) fossiele brandstoffen (5.43)	50-100	25	200	150	200
	bestaande installaties, fossiele brandstof (5.43)	100-300	100	850	500	250
	nieuwe installaties (vergunning vóór 27 november 2002 en die uiterlijk op 27 november 2003 in gebruik) fossiele brandstoffen (5.43)	100-300	50	850	200	250
> 50 MW	nieuwe installaties (vergunning op of na 27 nov 2002, of na 27 nov 2003 in gebruik) fossiele brandstoffen (5.43)	100-300	15	200	150	200
	bestaande installaties, fossiele brandstof (5.43)	300-500	25	250	350	250
	nieuwe installaties (vergunning vóór 27 november 2002 en die uiterlijk op 27 november 2003 in gebruik) fossiele brandstoffen (5.43)	300-500	25	200	200	250
	nieuwe installaties (vergunning op of na 27 nov 2002, of na 27 nov 2003 in gebruik) fossiele brandstoffen (5.43)	300-500	25	200	200	250

	Vaste brandstoffen	6% O <sub>2</sub> *	stof	SO <sub>2</sub>	NOx	CO
	nieuwe installaties (vergunning op of na 27 nov 2002, of na 27 nov 2003 in gebruik) fossiele brandstoffen (5.43)	300-500	15	200	150	200
	bestaande installaties, fossiele brandstof (5.43)	> 500	25	250	200	250
	nieuwe installaties (vergunning vóór 27 november 2002 en die uiterlijk op 27 november 2003 in gebruik) fossiele brandstoffen (5.43)	> 500	25	200	200	250
	nieuwe installaties (vergunning op of na 27 nov 2002, of na 27 nov 2003 in gebruik) fossiele brandstoffen (5.43)	> 500	15	200	150	200
	Biomassa/ Biomassa-afval (5.2.3bis.4.9)	> 50	15	75	300/195 <sup>2</sup>	150
	Niet verontreinigd behandeld houtafval (5.2.3bis.4.15)	> 50	15	75	300/195 <sup>2</sup>	150
	afval (5.2.3bis.1.15) en mest (5.28)	> 50	15	75	600/300/225 <sup>1</sup>	75

\* De emissiegrenswaarden voor biomassa/biomassa-afval, niet verontreinigd behandeld houtafval, afval en mest werden voor het maken van de vergelijking omgerekend naar een zuurstofoverschot van 6%.

**Tabel 9:** Overzicht emissiegrenswaarden voor van kracht voor vloeibare brandstoffen volgens artikel 5.2.3bis4.9, artikel 5.2.3bis4.15 en artikel 5.2.3bis1.15 van VLAREM II, rubriek 5.43 (stookinstallaties) en rubriek 5.28 (stationaire motoren)

	Vloeibare brandstoffen	3% O <sub>2</sub> *	stof	SO2	NOx	CO
< 5 MW	bestaande stookinstallaties, fossiele brandstof (5.43)	0,3-2 (vergunning voor 1 jan 2005)	-	-	-	-
	nieuwe stookinstallaties (vergunning vóór 27 november 2002 en die uiterlijk op 27 november 2003 in gebruik) fossiele brandstoffen (5.43)	2-5 (vergunning voor 1 jan 2005)	100	170	250	175
		0,3-2 (vergunning na 1 jan 2005)	100	1020	400	175
		2-5 (vergunning na 1 jan 2005)	100	170	185	175
		≥ 0,3 (vergunning voor 1 jan 1993)	100	1020	400	175
		≥ 0,3 (vergunning op of na 1 jan 1993 en voor jan 2000)	337,5	- <sup>3</sup>	5625	1687,5
	motor (5.28)	0,3-3 (vergunning op of na 1 jan 2000 en voor 1 jan 2005)	225	- <sup>3</sup>	4500	1125
		≥ 3-5 (vergunning op of na 1 jan 2000 en voor 1 jan 2005)	56,25	- <sup>3</sup>	4500	731,25
		0,3-5 (vergunning op of na 1 jan 2005)	56,25	- <sup>3</sup>	2250	731,25
		< 5	270	540	720	450
< 5		270	540	720	450	
5-50 MW	Biomassa/ Biomassa-afval (5.2.3bis.4.9)	< 5	18	90	720/360/270 <sup>1</sup>	90
	Niet verontreinigd behandeld houtafval (5.2.3bis.4.15)	< 5	200	1020	650	250
	bestaande stookinstallaties, fossiele brandstof (5.43)	2-5 (vergunning na 1 jan 2005)	100	1020	400	175
		5-20 (vergunning voor 1 jan 2005)	50	1020	400	175
		20-50 (vergunning voor 1 jan 2005)	50	1020	300	175
		20-50	200	1020	300	250
		5-20 (vergunning na 1 jan 2005)	50	1020	400	175
	nieuwe stookinstallaties (vergunning vóór 27 november 2002 en die uiterlijk op 27 november 2003 in gebruik) fossiele brandstoffen (5.43)	20-50 (vergunning na 1 jan 2005)	50	1020	150	175
		≥ 5 (vergunning op of na 1 jan 2000 en voor 1 jan 2005)	56,25	- <sup>3</sup>	562,5	731,25
		≥ 5 (vergunning op of na 1 jan 2005)	56,25	- <sup>3</sup>	562,5	731,25
5-50		54	540	720/360 <sup>2</sup>	360	
Biomassa/ Biomassa-afval (5.2.3bis.4.9)						

	Vloeibare brandstoffen	3% O <sub>2</sub> *	stof	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO
> 50 MW	Niet verontreinigd behandeld houtafval (5.2.3bis.4.15)	5-50	54	540	720/360 <sup>2</sup>	360
	afval (5.2.3bis.1.15) en mest (5.28)	5-50	18	90	720/360/270 <sup>1</sup>	90
	bestaande stookinstallaties, fossiele brandstof (5.43)	50-100	50	1020	300	250
	nieuwe stookinstallaties (vergunning vóór 27 november 2002 en die uiterlijk op 27 november 2003 in gebruik) fossiele brandstoffen (5.43)	50-100	50	1020	300	175
	nieuwe stookinstallaties (vergunning op of na 27 nov 2002, of na 27 nov 2003 in gebruik) fossiele brandstoffen (5.43)	50-100	30	850	150	175
	bestaande stookinstallaties, fossiele brandstof (5.43)	100-300	50	1020	300	250
	nieuwe stookinstallaties (vergunning vóór 27 november 2002 en die uiterlijk op 27 november 2003 in gebruik) fossiele brandstoffen (5.43)	100-300	50	1020	300	175
	nieuwe stookinstallaties (vergunning op of na 27 nov 2002, of na 27 nov 2003 in gebruik) fossiele brandstoffen (5.43)	100-300	15	200	150	175
	bestaande stookinstallaties, fossiele brandstof (5.43)	300-400	50	1020	250	250
	nieuwe stookinstallaties (vergunning vóór 27 november 2002 en die uiterlijk op 27 november 2003 in gebruik) fossiele brandstoffen (5.43)	300-600	25	200	200	175
	nieuwe stookinstallaties (vergunning op of na 27 nov 2002, of na 27 nov 2003 in gebruik) fossiele brandstoffen (5.43)	300-600	15	200	150	175
	bestaande stookinstallaties, fossiele brandstof (5.43)	400-500	250	lin 1020-400	250	250
	nieuwe stookinstallaties (vergunning vóór 27 november 2002 en die uiterlijk op 27 november 2003 in gebruik) fossiele brandstoffen (5.43)	> 600	25	150	200	175
	nieuwe stookinstallaties (vergunning op of na 27 nov 2002, of na 27 nov 2003 in gebruik) fossiele brandstoffen (5.43)	> 600	15	150	150	175
	bestaande stookinstallaties, fossiele brandstof (5.43)	> 500	25	400	200	250
	Biomassa/ Biomassa-afval (5.2.3bis.4.9)	> 50	18	90	360/234 <sup>2</sup>	180
	Niet verontreinigd behandeld houtafval (5.2.3bis.4.15)	> 50	18	90	360/234 <sup>2</sup>	180
	afval (5.2.3bis.1.15) en mest (5.28)	> 50	18	90	720/360/270 <sup>1</sup>	90

\* De emissiegrenswaarden voor biomassa/biomassa-afval, niet verontreinigd behandeld houtafval, afval en mest werden voor het maken van de vergelijking omgerekend naar een zuurstofoverschot van 3%. Ook de emissiegrenswaarden van motoren werden omgerekend naar een zuurstofoverschot van 3%

<sup>1</sup> Bestaande verbrandingsinstallaties met een nominale capaciteit van 6 ton/uur of minder/ bestaande verbrandingsinstallaties met een nominale capaciteit van meer dan 6 ton/uur en voor nieuwe verbrandingsinstallaties van 6 ton/uur of minder/ nieuwe verbrandingsinstallaties met een nominale capaciteit van meer dan 6 ton/uur (5)

<sup>2</sup> Nominale thermisch vermogen tot en met 30 MW / groter dan 30 MW

<sup>3</sup> Voor stationaire motoren worden er geen emissiegrenswaarden opgelegd voor SO<sub>x</sub>. Er worden wel beperkingen opgelegd aan het zwavelgehalte van de gestookte brandstof.

**Tabel 10:** Overzicht emissiegrenswaarden voor vast opgestelde motoren gestookt met vloeibare brandstoffen (art. 5.31.2)

Emissiegrenswaarden in mg/Nm <sup>3</sup> , zuurstofgehalte in rookgassen 5vol%					
gasolie	Stof	SO <sub>2</sub> *	NO <sub>x</sub>	CO	
≥ 0,3 (vergunning voor 1 jan 1993)	300	0,10%	5000	1500	
≥ 0,3 (vergunning op of na 1 jan 1993 en voor jan 2000)	200	0,10%	4000	1000	
0,3-3 (vergunning op of na 1 jan 2000 en voor 1 jan 2005)	50	0,10%	4000	650	
≥ 3-5 (vergunning op of na 1 jan 2000 en voor 1 jan 2005)	50	0,10%	2000	650	
≥ 5 (vergunning op of na 1 jan 2000 en voor 1 jan 2005)	50	0,10%	500	650	
0,3-5 (vergunning op of na 1 jan 2005)	50	0,10%	1000	650	150
≥ 5 (vergunning op of na 1 jan 2005)	50	0,10%	500	650	150
stookolie					
≥ 0,3 (vergunning voor 1 jan 1993)	300	0,60%	5000	1500	
≥ 0,3 (vergunning op of na 1 jan 1993 en voor jan 2000)	200	0,60%	4000	1000	
0,3-3 (vergunning op of na 1 jan 2000 en voor 1 jan 2005)	50	0,10%	4000	650	
≥ 3-5 (vergunning op of na 1 jan 2000 en voor 1 jan 2005)	50	0,10%	2000	650	
≥ 5 (vergunning op of na 1 jan 2000 en voor 1 jan 2005)	50	0,10%	500	650	
0,3-5 (vergunning op of na 1 jan 2005)	50	0,10%	1000	650	150
≥ 5 (vergunning op of na 1 jan 2005)	50	0,10%	500	650	150

\* Maximum S-gehalte in de brandstof

Voor de monoverbranding van *gasvormige hernieuwbare brandstoffen* zijn in VLAREM II enkel specifieke emissiegrenswaarden gedefinieerd voor de verbranding in middelgrote stookinstallaties en vast opgestelde motoren. Deze worden weergegeven in onderstaande tabellen (Tabel 11 en Tabel 12).

De emissiegrenswaarden zijn enkel van toepassing op middelgrote stookinstallaties waarvoor een eerste vergunning tot exploitatie werd verleend voor 1 januari 2005. Voor middelgrote stookinstallaties waarvoor de vergunning na 1 januari 2005 werd verleend zijn geen specifieke emissiegrenswaarden gedefinieerd voor biogas. Voor kleine en grote stookinstallaties zijn geen specifieke normen opgenomen voor biogas. Voor deze installaties gelden de normen die zijn opgenomen onder “andere gassen”.

**Tabel 11:** Emissiegrenswaarden voor gasvormige hernieuwbare brandstoffen in VLAREM II – biogas in middelgrote stookinstallaties (5 tot 50 MW), overige installaties algemene norm (art. 5.43.2.)

Emissiegrenswaarden in mg/Nm <sup>3</sup> , zuurstofgehalte in rookgassen 3vol%				
<i>bestaand</i>	stof	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO
0,3-5	50	35	350	250
5-50	50	800	350	250
> 50	5	35	300	250
<i>nieuwe installaties</i>				
0,3-5 (vergunning voor januari 2005)	5	35	200	100
5-50 (vergunning voor januari 2005)	5	200	200	100
> 50 (vergunning voor 27 nov 2002, uiterlijk 27 nov 2003 in gebruik)	5	35	200	100
<i>nieuwe installaties</i>				
0,3-5 (vergunning na 1 januari 2005)	5	35	200	100
5-50 (vergunning op of na 1 januari 2005)	5	35	200	100
> 50 (vergunning na 27 nov 2002, na 27 nov 2003 in gebruik)	5	35	200	100

Voor motoren op hernieuwbare gassen gelden volgens VLAREM II dezelfde emissiegrenswaarden als voor motoren gestookt met fossiele gassen. Wanneer met biogas wordt gestookt worden soms soepelere normen gehanteerd zoals blijkt uit onderstaande tabel.

**Tabel 12:** Emissiegrenswaarden voor gasvormige hernieuwbare brandstoffen in VLAREM II – biogas in vast opgestelde motoren 360 of meer bedrijfsuren per jaar (art. 5.31.1.2)

type gasmotor	nominiaal thermisch vermogen in MW	emissiegrenswaarden in mg/Nm <sup>3</sup>		
		NO <sub>x</sub>	CO	organische stoffen, uitzonderd methaan
eerste vergunning tot exploitatie is verleend voor 1 januari 2000		1300 x $\eta/30^2$	1300	-
eerste vergunning tot exploitatie is verleend op of na 1 januari 2000 en voor 1 januari 2005		500 x $\eta/30$	650 <sup>1</sup>	-
eerste vergunning tot exploitatie is verleend op of na 1 januari 2005	≤ 1	500 x $\eta/30$	650 <sup>1</sup>	150
	> 1	500	650 <sup>1</sup>	150

$\eta$  = nominaal motorrendement

<sup>1</sup> Voor gasmotoren gevoed met biogas wordt deze emissiegrenswaarde voor CO verhoogd tot 1300 mg/Nm<sup>3</sup>.

<sup>2</sup> In afwijking van deze emissiegrenswaarde is voor gasmotoren waarvoor de eerste vergunning tot exploitatie is verleend voor 1 januari 1993 tot 31 december 2018 geen NO<sub>x</sub>-emissiegrenswaarde van toepassing.

Voor gasmotoren waarvoor de eerste vergunning tot exploitatie is verleend op of na 1 januari 1993 maar voor 1 januari 2000 is ingeval van voeding met biogas een NO<sub>x</sub>-emissiegrenswaarde van 2600 x h/30 mg/Nm<sup>3</sup> van toepassing.

Voor gasturbines is er geen specifieke regelgeving van kracht wanneer biogas gestookt wordt. In onderstaande tabel worden de algemeen geldende normen voor gasturbines weergegeven.

**Tabel 13:** Emissiegrenswaarden gasturbines gestookt met gasvormige brandstoffen, met meer dan 360 bedrijfsuren per jaar (art. 5.43.3)

Emissiegrenswaarden in mg/Nm <sup>3</sup> , zuurstofgehalte in rookgassen 15vol%			
	(vergunning voor 27 nov 2002, uiterlijk 27 nov 2003 in gebruik)		
<b>vanaf 1 jan 2008</b>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO
< 50 vergunning voor 1 jan 1993	12	250	100
≥ 50 vergunning voor 1 jan 1993	12	150	100
< 50 vergunning voor 1 jan 2000	12	200	100
≥ 50 vergunning voor 1 jan 2000	12	100	100
< 50 vergunning op of na 1 jan 2000	12	150	100
> 50-< 100 vergunning op of na 1 jan 2000	12	100	100
≥ 100 vergunning op of na 1 jan 2000	12	75	100
<b>nieuwe installaties</b>	(vergunning op of na 27 nov 2002, na 27 nov 2003 in gebruik)		
< 50	12	75	100
≥ 50	12	50	100

Voor de *meeverbranding van afvalstoffen in stookinstallaties* gelden bijzondere voorschriften. Voor deze installaties zijn in VLAREM II emissiegrenswaarden gespecificeerd afhankelijk van de installatiegrootte en van het soort brandstof waarmee het afval wordt meeverbrand. Onderstaande tabel (Tabel 14) geeft hiervan een overzicht. Voor de parameters die niet zijn opgenomen in onderstaande tabel (o.a. CO, TOC, HF) wordt de emissiegrenswaarde berekend op basis van de mengregel zoals uitgelegd in art. 5.2.3bis.1.19. van VLAREM II.

De waarden die worden weergegeven in onderstaande tabel moeten worden gebruikt in de mengregel (zoals beschreven in art. 5.2.3bis.1.19) om de geldende emissiegrenswaarden te berekenen wanneer afvalstoffen worden meeverbrand in stookinstallaties.

**Tabel 14:** Proces-emissiegrenswaarden voor stookinstallaties waarin afvalstoffen worden meeverbrand (art. 5.2.3bis.1.21)

Vermogen		< 50 MW	50 tot 100 MW	100 tot 300 MW	> 300 MW
<b>Verontreinigende stof (daggemiddelden)</b>					
<b>Meeverbranden van afval met vaste brandstoffen</b>					
6% O <sub>2</sub> ; droge rookgassen					
SO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	300	300	200	200
NO <sub>x</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	400	400	200	200
totaal stof	mg/Nm <sup>3</sup>	50	30	30	30
HCl	mg/Nm <sup>3</sup>	30	30	30	30
<b>Meeverbranden van afval met producten, bestaande uit plantaardige materialen of delen daarvan van landbouw of bosbouw</b>					
11% O <sub>2</sub> ; droge rookgassen					
SO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	300	50	50	50
NO <sub>x</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	400/200 (2)	200	200	130
totaal stof	mg/Nm <sup>3</sup>	30	10	10	10

Vermogen		< 50 MW	50 tot 100 MW	100 tot 300 MW	> 300 MW
<b>Verontreinigende stof (daggemiddelden)</b>					
HCl	mg/Nm <sup>3</sup>	30	10	10	10
6% O <sub>2</sub> ; droge rookgassen					
<b>Meeverbranden van afval met vloeibare brandstoffen</b>					
3% O <sub>2</sub> ; droge rookgassen					
SO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	150	150	150	150
NO <sub>x</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	300	300	200	200
totaal stof	mg/Nm <sup>3</sup>	50	30	30	30
HCl	mg/Nm <sup>3</sup>	30	30	30	30

- (1) De gemiddelden worden bepaald over een bemonsteringsperiode van minimaal zes uur en maximaal acht uur. De emissiegrenswaarde heeft betrekking op de totale concentratie van dioxinen en furanen, berekend aan de hand van het begrip 'toxische equivalentie'. Voor de continue bemonstering van dioxinen en furanen geldt 0,1 ng TEQ/Nm<sup>3</sup> als drempelwaarde.
- (2) Voor installaties met een nominaal thermisch vermogen tot en met 30 MW geldt voor stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>), uitgedrukt als NO<sub>2</sub>, een emissiegrenswaarde van 400 mg/Nm<sup>3</sup>. Voor installaties met een nominaal thermisch vermogen groter dan 30 MW geldt een emissiegrenswaarde van 200 mg/Nm<sup>3</sup>.
- (3) Gemiddelde waarden over een bemonsteringsperiode van minimaal dertig minuten en maximaal acht uur

Voor een aantal pollutanten echter zijn bepaalde emissiegrenswaarden rechtstreeks van kracht wanneer afval wordt meeverbrand in stookinstallaties. In onderstaande tabel (Tabel 15) worden deze emissiegrenswaarden weergegeven.

*Tabel 15: Emissiegrenswaarden voor stookinstallaties waarin afvalstoffen worden meeverbrand (art. 5.2.3bis1.21)*

<b>Meeverbranden van afval met alle types van brandstoffen</b>		
6% O <sub>2</sub> ; droge rookgassen		
Dioxinen en furanen (1)	ng TEQ/Nm <sup>3</sup>	0,1
Cd en Tl	mg/Nm <sup>3</sup>	0,05
Hg	mg/Nm <sup>3</sup>	0,05
Overige zware metalen (3)	mg/Nm <sup>3</sup>	0,5

Ten slotte maken we nog een vergelijking van de pollutanten waarvoor een emissiegrenswaarde is gedefinieerd afhankelijk van het type installaties waarin wordt verbrand (zie Tabel 16). Voor installaties waarin niet verontreinigd behandeld houtafval, afval en mest wordt verbrand zijn er meer pollutanten gereguleerd dan voor installaties waarin fossiele brandstoffen worden verwerkt.



Tabel 16: Polluenten waarvoor een emissiegrenswaarde is gedefinieerd in VLAREM II per type installatie

vermogen	verbrandingsinstallaties voor afval (5.2)/stookinstallaties gestookt met biomassa (5.43)/verbrandingsinstallaties voor mest (5.28)				motoren (5.31)		stookinstallaties (5.43)					
	tot 5 MW		5 tot 50 MW		of meer 50 MW		alle installaties	gasmotor	Diesel motor	vast	vloeibaar	gas
	Biomassa/afval	Niet verontreinigd houtafval	Biomassa/afval	Niet verontreinigd houtafval	Biomassa/afval	Niet verontreinigd houtafval	afval	mest				
brandstof												
verontreinigende stof												
totaal stof												
CO												
NOx												
SO2												
Dioxinen en furanen												
TOC									(1)			
HF										(2)		
HCl										(3)		
Cd en Tl												
Hg												
mikkel												
vanadium												
Overige zware metalen												

Emissiegrenswaarde gedefinieerd voor pollutent

- (1) gemeten als org. stoffen, uitgez. CH4
- (2) gemeten als fluoriden
- (3) gemeten als chloriden

### ***Besluit emissiegrenswaarden***

In VLAREM II zijn voor een aantal hernieuwbare brandstoffen emissiegrenswaarden verspreid opgegeven. Door de ontoereikende definitie voor hernieuwbare brandstoffen in de huidige milieuwetgeving is er voor een groot deel van de hernieuwbare brandstoffen geen duidelijkheid over de emissiegrenswaarden. Om emissiegrenswaarden voor installaties op een aantal hernieuwbare brandstoffen te kunnen toekennen is momenteel heel wat interpretatie van de wetgeving nodig zoals blijkt uit volgende paragrafen.:

Voor ***vaste hernieuwbare brandstoffen*** gelden voor biomassa en biomassa-afval (uitgezonderd niet verontreinigd houtafval) de emissiegrenswaarden die worden gegeven onder 5.2.3bis4.9. Voor niet verontreinigd behandeld houtafval gelden de emissiegrenswaarden gegeven in artikel 5.2.3.bis4.15. Voor hernieuwbare brandstoffen die niet als biomassa of als biomassa-afval worden beschouwd in VLAREM gelden de emissiegrenswaarden voor de verbranding van afval. Deze worden gegeven onder 5.2.3bis1.15. Mest ten slotte wordt ook als hernieuwbare brandstof beschouwd. Voor mestverbrandingsinstallaties gelden de emissiegrenswaarden zoals weergegeven onder 5.28. Voor biomassa en biomassa-afval wordt verondersteld dat ook aan de geldende emissiegrenswaarden wordt voldaan wanneer de emissiegrenswaarden zoals weergegeven onder 5.43 worden gerespecteerd. Er moet hierbij rekening worden gehouden met de specifieke karakteristieken van de installatie.

In VLAREM worden geen specifieke emissiegrenswaarden gedefinieerd voor ***vloeibare hernieuwbare brandstoffen***. Afhankelijk van de gebruikte grondstof kunnen verschillende emissiegrenswaarden van toepassing zijn. Voor vloeibare biomassa en biomassa-afval wordt verondersteld dat aan de emissiegrenswaarden wordt voldaan wanneer de grenswaarden zoals weergegeven onder 5.43 worden gerespecteerd, rekeninghoudend met de specifieke karakteristieken van de installatie. Momenteel worden de normen voor stationaire motoren of stookinstallaties gehanteerd.

Voor ***gasvormige hernieuwbare brandstoffen*** worden in beperkte mate specifieke emissiegrenswaarden gedefinieerd. Dit is het geval voor stationaire motoren en middelgrote stookinstallaties met een thermisch vermogen tussen 5 en 50 MW. Voor de overige installaties is dit niet het geval. Voor stookinstallaties waarvoor geen specifieke norm wordt gedefinieerd gelden de normen die gegeven worden onder 'andere gassen'. Voor stationaire motoren gelden de normen die ook van toepassing zijn bij het gebruik van fossiele brandstoffen.

OVAM beschouwt de verbranding biogas (afkomstig van vergisting) niet als afvalverbranding. De verbranding van synthesegas (van vergassing) en pyrolysegas (van pyrolyse) wordt wel als afvalverbranding beschouwd.

Er zijn minder pollutanten gereguleerd bij stookinstallaties en motoren gestookt met fossiele brandstoffen in vergelijking met installaties waarin hernieuwbare brandstoffen worden gestookt.

#### ***2.3.2.4. Meetverplichting***

Niet enkel de geldende emissiegrenswaarden verschillen sterk afhankelijk van het artikel dat van toepassing is. Ook de meetverplichtingen die in VLAREM II worden gedefinieerd verschillen sterk voor de verschillende hoofdstukken waaronder de hernieuwbare brandstof geklasseerd kunnen worden.

In onderstaande tabel (Tabel 17) wordt een overzicht gegeven van de geldende meetverplichtingen voor de verschillende installaties waarin hernieuwbare brandstoffen gestookt kunnen worden.

In het overzicht zijn zowel de meetverplichtingen weergegeven voor installaties waarin hernieuwbare brandstoffen worden gestookt als voor installaties waarin fossiele brandstoffen worden gestookt. Deze laatste zijn opgenomen in de tabel om aan te kunnen geven wat het effect is van het (mee)stoken van hernieuwbare brandstoffen.

Voor stookinstallaties gevoed met biomassa gelden de bepalingen van artikel 5.2.3bis4.12 (§ 10 art.5.43.2.1.3). Bij de meetverplichtingen die van toepassing zijn op vast opgestelde motoren, is geen afwijking opgenomen voor motoren waarin hernieuwbare brandstoffen worden gestookt. Voor deze installaties is het, net zoals voor de emissiegrenswaarden, onduidelijk welke regels van toepassing zijn.

Tabel 17: *Overzicht van de meetverplichtingen in VLAREM II*

Vermogen	verbrandingsinstallaties voor afval (5.2)/stookinstallaties gestookt met biomassa (5.43)/verbrandingsinstallaties voor mest (5.28)						motoren (5.31)			stookinstallaties (5.43)				
	tot 5 MW		5 tot 50 MW		50 MW of meer		alle installaties	alle installaties	tot en met 1 MW	1 tot 5 MW	5 MW of meer	tot 100 MW	100 MW of meer	
	Biomassa/ Biomassa- afval	Niet verontr. beh. houtafval (3)	Biomassa/ Biomassa- afval	Niet verontr. beh. houtafval (3)	Biomassa/ Biomassa- afval	Niet verontr. beh. houtafval (3)	afval	mest	fossiele brandstof	fossiele brandstof	fossiele brandstof	fossiele brandstof	fossiele brandstof	
<b>Polluent</b>														
totaal stof	jaarlijks	6-maandelijkse	3-maandelijkse	continuu (5)	continuu (5)	continuu (5)	continuu	continuu (5)	continuu	5-jaarlijks (8)	2-jaarlijks (8)	3-maandelijkse (8)	3-maandelijkse (10)	continuu (11)
CO	jaarlijks	6-maandelijkse	3-maandelijkse	continuu (5)	continuu (5)	continuu (5)	continuu	continuu (5)	continuu	5-jaarlijks	2-jaarlijks	3-maandelijkse	3-maandelijkse	continuu
NOx	jaarlijks	6-maandelijkse	3-maandelijkse	6-maandelijkse	6-maandelijkse	continuu	continuu	continuu	continuu	5-jaarlijks	2-jaarlijks	3-maandelijkse	3-maandelijkse	continuu
SO2	jaarlijks (1)		3-maandelijkse	6-maandelijkse	6-maandelijkse	continuu (2)	continuu	continuu	continuu	5-jaarlijks (9)	2-jaarlijks (9)	3-maandelijkse (9)	3-maandelijkse (10)	continuu (11)
Dioxinen en furanen		2-jaarlijks	jaarlijks	jaarlijks	jaarlijks	continuu bemonsteren/ 2-wekelijkse analyse (4)	continuu bemonsteren/ 2-wekelijkse analyse (4)	continuu bemonsteren/ 2-wekelijkse analyse (4)	continuu					
TOC			6-maandelijkse	6-maandelijkse	6-maandelijkse	6-maandelijkse	continuu	continuu	continuu	5-jaarlijks	2-jaarlijks	3-maandelijkse		
HF			6-maandelijkse	6-maandelijkse	6-maandelijkse	6-maandelijkse	continuu	continuu	continuu					
HCl		6-maandelijkse	6-maandelijkse	6-maandelijkse	6-maandelijkse	6-maandelijkse	continuu	continuu	continuu					
Zware metalen			6-maandelijkse	6-maandelijkse	6-maandelijkse	6-maandelijkse	6-maandelijkse	6-maandelijkse	6-maandelijkse					
NH3							6-maandelijkse	6-maandelijkse	6-maandelijkse					
H2S							6-maandelijkse	6-maandelijkse	6-maandelijkse					

1. niet verplicht indien de exploitant kan aantonen dat de SO<sub>2</sub>-emissies in geen geval hoger zijn dan de voorgeschreven grenswaarden.
2. niet verplicht indien de exploitant kan aantonen dat de SO<sub>2</sub>-emissies in geen geval hoger zijn dan de voorgeschreven grenswaarden. Er moeten tenminste om de 3 maanden metingen plaats vinden. Deze niet-continue metingen mogen vervangen worden door berekeningen op basis van geregistreerde componenten of relevante parameters volgens een code van goede praktijk en/of door andere geschikte bepalingsmethoden volgens een code van goede praktijk.

3. In de milieuvergunning kan worden toegestaan dat de frequentie van de periodieke metingen verlaagd wordt, op voorwaarde dat de exploitant aan de vergunningverlenende overheid kan bewijzen dat de emissies onder alle omstandigheden minder dan 50% bedragen van de vastgestelde emissiegrenswaarden. Die afwijkingaanvraag moet in de milieuvergunning worden gemotiveerd.
4. De analysefrequentie kan worden verminderd volgens het schema vermeld als bijlage 5.2.3bis1 van VLAREM II.
5. In de milieuvergunning kan worden toegestaan dat in verbrandings- of meeverbrandingsinstallaties in plaats van continuïteit metingen van CO en stof periodieke metingen worden verricht met een frequentie van ten minste twee metingen per jaar en gedurende de eerste werkingsperiode van twaalf maanden ten minste om de drie maanden. Dat is enkel toegestaan als de exploitant kan aantonen dat de emissies van genoemde verontreinigende stoffen in geen geval hoger kunnen zijn dan de vastgestelde emissiegrenswaarden. Die uitzonderingen moeten in de milieuvergunningaanvraag of in de vraag tot wijziging van de vergunningsvoorwaarden worden vermeld en gemotiveerd.
6. In de milieuvergunning kan worden toegestaan dat de frequentie van de periodieke metingen voor zware metalen van twee maal per jaar verlaagd wordt naar eenmaal per twee jaar, op voorwaarde dat de emissies als gevolg van verbranding of meeverbranding minder dan 50% bedragen van de overeenkomstig artikel 5.2.3bis.4,1,5 vastgestelde emissiegrenswaarden. Dat wordt beoordeeld aan de hand van informatie over de samenstelling van het afval in kwestie en op basis van metingen van de emissies van de genoemde stoffen. Die uitzonderingen moeten in de milieuvergunningaanvraag worden vermeld en gemotiveerd.
7. Bij verbrandings- en meeverbrandingsinstallaties kan de analysefrequentie van de monsters worden verminderd volgens het schema, vermeld in bijlage 5.2.3bis.1. Behalve voor verbrandingsinstallaties voor huishoudelijke afvalstoffen kan de vergunningverlenende overheid op vraag van de exploitant en op basis van een evaluatieverslag van de toezichthoudende overheid, toestaan dat er geen continue bemonstering van dioxinen en furanen wordt uitgevoerd en/of de analysefrequentie wordt vermindert.
8. Voor bestaande motoren kunnen de bedoelde metingen voor stof vervangen worden door berekeningen op basis van een code van goede praktijk
9. De bedoelde metingen zijn niet vereist voor SO<sub>2</sub> als het zwavelgehalte van de brandstof op continue basis gekend is
10. De continue metingen zijn niet vereist:
  - 1° voor SO<sub>2</sub> van stookinstallaties die gestookt worden met aardgas of met ontzwaveld raffinaderijgas waarvan het zwavelgehalte minder dan 150 ppm bedraagt;
  - 2° voor SO<sub>2</sub> van stookinstallaties die gestookt worden met stookolie waarvan het zwavelgehalte bekend is, ingeval er geen ontzwavelingsuitrusting is;
  - 3° voor SO<sub>2</sub> van stookinstallaties die gestookt worden met biomassa, met uitzondering van biomassa-afval, als de exploitant kan aantonen dat de SO<sub>2</sub>-emissies in geen geval hoger zijn dan de voorgeschreven emissiegrenswaarden;
  - 4° voor stof van stookinstallaties die gestookt worden met aardgas of met raffinaderijgas.
11. De metingen zijn niet vereist:
  - 1° voor SO<sub>2</sub> als het gaat om in hoofdzaak met aardgas of met andere zeer zware brandstoffen gevoede stookinstallaties;
  - 2° voor SO<sub>2</sub> als het SO<sub>2</sub>-gehalte op continue basis wordt berekend op basis van het zwavelgehalte van de brandstof;
  - 3° voor SO<sub>2</sub> van stookinstallaties die gestookt worden met biomassa, met uitzondering van biomassa-afval, als de exploitant kan aantonen dat de SO<sub>2</sub>-emissies in geen geval hoger zijn dan de voorgeschreven emissiegrenswaarden;
  - 4° voor stof als het gaat om in hoofdzaak met gasvormige brandstoffen gevoede stookinstallaties.

Voor de monoverbranding van *vaste hernieuwbare brandstoffen* zijn de meetverplichtingen afhankelijk van het type installatie waarin de brandstof wordt verwerkt en van de definitie waaronder de brandstof valt volgens VLAREM. Voor biomassa en biomassa-afval gelden dezelfde meetverplichtingen. Net zoals voor de emissiegrenswaarden worden de meetverplichtingen opgesplitst naar gelang het vermogen van de installatie. Er wordt onderscheid gemaakt tussen kleine (< 5MW), middelgrote (5 tot 50 MW) en grote installaties (> 50 MW). Ook voor niet verontreinigd behandeld houtafval wordt deze opdeling gehanteerd. Voor installaties waarin afval en mest wordt verwerkt zijn de geldende meetverplichtingen niet afhankelijk van het vermogen van de installatie.

Voor biomassa, biomassa-afval en niet verontreinigd behandeld houtafval is de meetverplichting strenger naar mate het vermogen van de installatie toeneemt. Voor installaties waarin afval of mest wordt verwerkt gelden steeds de strengste meetverplichtingen, onafhankelijk van het vermogen van de installatie.

Installaties met een vermogen van minimaal 50 MW (voor biomassa, biomassa-afval en niet behandeld verontreinigd houtafval) en installaties waarin afval of mest wordt verwerkt zijn continu metingen verplicht voor de pollutanten totaal stof, CO, NOx en SOx. In middelgrote installaties moeten enkel stof en CO continu te worden gemeten wanneer niet verontreinigd behandeld houtafval wordt verbrand. NOx en SO2 moeten 6 maandelijks te worden gemeten in deze installaties. Wanneer er biomassa of biomassa-afval wordt verbrand in deze installaties dienden alle voornoemde pollutanten 3-maandelijks te worden gemeten. Kleine installaties waarin biomassa of biomassa-afval wordt verbrand moeten deze pollutanten jaarlijks meten. Wanneer niet verontreinigd behandeld houtafval wordt verbrand moeten de pollutanten totaal stof, CO en NOx 6-maandelijks te worden gemeten. Voor deze installaties geldt geen meetverplichting voor de pollutant SO2.

Dioxines en furanen moeten continu bemonsterd worden, met 2 wekelijkse analyse van de stalen in installaties met een vermogen van minimaal 50 MW, en installaties waarin mest of afval wordt verbrand. Middelgrote installaties moeten jaarlijks een meting uitvoeren voor deze pollutant, en kleine installaties waarin niet verontreinigd behandeld houtafval wordt verbrand 2-jaarlijks.

Bij installaties waar mest en afval wordt verwerkt moeten bijkomende continu metingen worden gedaan voor de pollutanten TOC, HF en HCl. Voor grote en middelgrote installaties waarin niet verontreinigd behandeld houtafval wordt verwerkt moeten deze pollutanten nog 6-maandelijks worden gemeten. In kleine installaties waar deze fractie wordt verwerkt moet enkel de concentratie HCl 6-maandelijks worden gemeten.

Ten slotte moeten installaties waarin mest wordt verwerkt nog 6-maandelijkse metingen worden uitgevoerd van de pollutanten NH3 en H2S.

### ***Besluit meetverplichting***

Uit de vergelijking van de meetverplichtingen die van toepassing zijn op verbrandingsinstallaties waarin hernieuwbare brandstoffen worden verwerkt met die van stookinstallaties of motoren waarin fossiele brandstoffen worden gestookt blijkt dat voor deze laatste brandstoffen er voor minder pollutanten meetverplichtingen worden opgelegd. Bovendien kan meestal worden voldaan met een lagere meetfrequentie (uitgezonderd voor grote stookinstallaties).

### 2.3.3. VLAREA

Het milieu-juridisch kader voor het milieucompartiment *afval* wordt gevormd door het afvalstoffendecreet en het uitvoeringsbesluit VLAREA.

In het *afvalstoffendecreet* worden, ondermeer, maatregelen bepaald betreffende het beheer en verwijderen van afval en de in- en uitvoer ervan.

In het uitvoeringsbesluit van het afvalstoffendecreet, het Vlaams reglement inzake afvalvoorkoming en afvalbeheer (VLAREA), wordt ondermeer invulling gegeven aan voornoemde maatregelen. Zo worden er regels geformuleerd omtrent het vervoer, inzameling en verwerking van afvalstoffen. Binnen de stroom ‘biomassa’ wordt onderscheid gemaakt tussen ‘schone biomassa’ en ‘biomassa-afval’. Deze laatste stroom zal voor wat de verwerking in verbrandingsinstallaties voor hernieuwbare brandstoffen moeten voldoen aan de in het VLAREA gestelde voorwaarden. In het kader van deze studie zijn het vooral de verbrandingsverboden die in overweging moeten worden genomen. Artikel 5.4.2 stelt dat het verboden is om selectief ingezamelde stromen, die in aanmerking komen voor materiaalrecyclage, te verwerken door verbranding in een in het Vlaamse Gewest gelegen inrichting. In afwijking van deze bepaling geldt het verbod niet voor de verbranding van volgende afvalstromen mits de afvalstoffen een calorische inhoud hebben van > 11.500 kJ/kg, en ze gebruikt worden voor de opwekking van hernieuwbare energie:

- plantaardig afval van land- en bosbouw;
- plantaardig afval van de voedingsmiddelenindustrie;
- vezelachtig plantaardig afval afkomstig van het sorteren, ziften en wassen bij de rauwe pulp en de papierproductie;
- houtafval;
- kurkafval.

### 2.3.4. VLAREBO

Voor het milieucompartiment *bodem* wordt het milieu-juridisch kader gevormd door het bodemsaneringsdecreet en het uitvoeringsbesluit VLAREBO.

In het *bodemsaneringsdecreet* worden ondermeer maatregelen voor bodemsanering en bodembescherming bepaald. De maatregelen over *bodemsanering* betreffen ondermeer de identificatie en inventarisatie van gronden, de verplichting om een oriënterend en beschrijvend bodemonderzoek te doen en de bodemsaneringsplicht. De maatregelen voor bodembescherming werden toegevoegd aan het nieuwe bodemsaneringsdecreet. In het vorige bodemsaneringsdecreet stonden enkel end-of-pipe maatregelen. Er kunnen instrumenten ter bescherming van de bodem ter beschikking worden gesteld door de Vlaamse Regering.

In het uitvoeringsbesluit betreffende bodemsanering (*VLAREBO*) werd voor wat bodemsanering betreft ondermeer volgende invulling gegeven.

Installaties die bodemverontreiniging kunnen veroorzaken worden in Bijlage 1 van VLAREBO opgelijst. Inrichtingen voor de *verwerking van afvalstoffen* vallen onder nummer 2 van deze lijst. Verbrandingsinrichtingen onder nummer 43. Stookinstallaties worden eveneens onder deze nummer ingedeeld.

De *opslag en nuttige toepassing van afvalstoffen* valt onder rubriek 2.2. Inrichtingen voor *opslag en sortering* van afvalstoffen vallen onder rubriek 2.2.1 indien de sortering van de afvalstoffen manueel of met lichte gereedschappen gebeurt. Afhankelijk van het type afval is rubriek c (niet-gevaarlijke afvalstoffen bestaande uit papier en karton, hout, textiel, kunststoffen,

metaal, glas, rubber en bouw- & sloopafval) of d (andere niet-gevaarlijke afvalstoffen) van toepassing. *Opslag en mechanische behandeling* van afvalstoffen wordt ingedeeld onder 2.2.2. Onder mechanisch behandelen wordt het behandelen van de afvalstoffen verstaan zonder de chemische eigenschappen van de afvalstoffen te veranderen. Ook hier wordt onderscheid gemaakt volgens het type afval dat wordt behandeld. Indien het behandeld afval bestaat uit niet-gevaarlijk afval zoals opgesomd onder 2.2.1 c, wordt het ingedeeld onder rubriek b van 2.2.2. Indien het andere niet-gevaarlijke afvalstoffen betreft wordt de inrichting ingedeeld onder rubriek f.

Daarnaast legt VLAREBO de exploitanten van in bijlage 1 opgenomen inrichtingen de verplichting op om op eigen kosten een oriënterend bodemonderzoek te doen. Alle installaties die in deze lijst zijn opgenomen moeten een bodemonderzoek uitvoeren bij overdracht, sluiting van de inrichting of bij stopzetting van de activiteit. Voor inrichtingen voor *opslag en sortering (rubrieken 2.2.1 c en d)* en *opslag en mechanische behandeling (rubrieken 2.2.2 b en f)* van afvalstoffen geldt de bijkomende verplichting om, afhankelijk van de opslagcapaciteit, een periodiek oriënterend bodemonderzoek te doen. Voor installaties met een opslagcapaciteit van maximaal 100 ton moet dit onderzoek elke 20 jaar gebeuren, voor installaties met een capaciteit van meer dan 100 ton dient dit onderzoek elke 10 jaar te gebeuren. Voor verbrandingsinrichtingen zonder elektriciteitsproductie met een warmtevermogen van de installatie meer dan 5 000 kW moet een bodemonderzoek worden uitgevoerd bij overdracht, sluiting van de inrichting of bij stopzetting van de activiteit. Voor installaties met elektriciteitsproductie moet een periodiek bodemonderzoek worden uitgevoerd om de 20 jaar indien het totale warmtevermogen van de installatie meer dan 5 000 kW bedraagt.

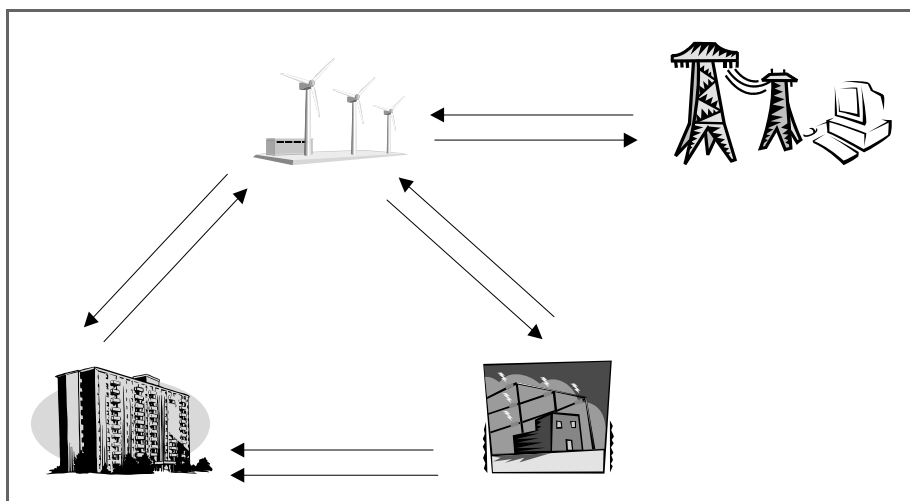
Omtrent bodembescherming zijn er nog geen specifieke maatregelen opgenomen in VLAREBO.

### **2.3.5. Andere Vlaamse wetgeving**

#### **2.3.5.1. *Besluit van de Vlaamse regering van 5 maart 2004 inzake de bevordering van elektriciteitsopwekking uit hernieuwbare energiebronnen en Decreet van 17 juli 2000 houdende de organisatie van de elektriciteitsmarkt (Elektriciteitsdecreet)***

Het besluit heeft tot doel het aandeel van hernieuwbare energiebronnen in de elektriciteitsproductie van de interne elektriciteitsmarkt te bevorderen. Het besluit gaat in hoofdzaak over het systeem van groenestroomcertificaten. Producenten van elektriciteit uit hernieuwbare energiebronnen kunnen groenestroomcertificaten verkrijgen voor zonne-energie, windenergie, waterkracht (< 10 MW), biomassa (met inbegrip van biogas, stortgas en rioolwaterzuiveringsgas), aardwarmte, getijdenenergie en golfslagenergie. Voor elke 1000 kWh groene stroom kent de Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteit- en Gasmarkt (VREG) één immaterieel certificaat toe dat opgeslagen wordt in een centrale databank. Deze certificaten kunnen de producenten verkopen aan de leveranciers. Iedere elektriciteitsleverancier moet bewijzen dat een bepaald percentage van de door hem geleverde elektriciteit opgewekt werd uit hernieuwbare energiebronnen. Dit percentage neemt toe van 0,8% in 2002 tot 6% in 2010 (art. 23 uit het Elektriciteitsdecreet).





*Figuur 3: Schematische voorstelling systeem groenestroomcertificaten*

**a. Besluit van de Vlaamse regering van 7 juli 2006 ter bevordering van elektriciteitsopwekking in kwalitatieve warmtekrachtinstallaties en Decreet van 17 juli 2000 houdende de organisatie van de elektriciteitsmarkt (Elektriciteitsdecreet)**

De gelijktijdige productie van elektriciteit en warmte door middel van kwalitatieve warmtekrachtkoppeling wordt door de overheid aangemoedigd, onder meer via het systeem van warmtekrachtcertificaten (WKC).

Dit systeem bestaat uit twee delen. Enerzijds is er de verplichting voor elke elektriciteitsleverancier om te zorgen voor een minimumaandeel aan elektriciteit uit kwalitatieve warmtekrachtinstallaties. Anderzijds kunnen eigenaars van kwalitatieve warmtekrachtinstallaties (WKK-producenten) warmtekrachtcertificaten aanvragen bij de VREG.

Een kwalitatieve warmtekrachtinstallatie is een installatie die een hoeveelheid primaire energie (brandstof) minder verbruikt dan wat het geval zou zijn bij gescheiden opwekking van elektriciteit en warmte. De primaire energiebesparing door dergelijke installaties kan in aanmerking komen voor de toekenning van WKK-certificaten.

Een warmtekrachtinstallatie kan zowel fossiele als hernieuwbare energiebronnen als brandstof gebruiken. In beide gevallen kan aanspraak worden gemaakt op WKK-certificaten. Warmtekrachtinstallaties die gebruikmaken van hernieuwbare brandstoffen kunnen zowel voor groenestroomcertificaten als voor warmtekrachtcertificaten in aanmerking komen.

### **2.3.6. Beleidsinstrument:**

#### **2.3.6.1. NEC (National Emission Ceilings) – reductieprogramma**

De NEC-richtlijn (2001) is opgesteld door de Europese Unie en bevat emissieplafonds die aan de verschillende lidstaten worden opgelegd om verzuring, eutrofiëring en de ozonproblematiek in te dijken. Tegen 2010 dient België respectievelijk Vlaanderen zich te beperken tot de volgende maximale waarden:

NOx:	176 kton (-48.1%) / 58.3 kton (-41.1%)
NMVOs:	139 kton (-58.1%) / 70.9 kton (-50.0%)
SO <sub>2</sub> :	99 kton (-73.4%) / 65.8 kton (-73.4%)
NH <sub>3</sub> :	74 kton (-31.0%) / 45.0 kton (-42.4%)

Voor België wordt de parameters NO<sub>x</sub> en NMVOs een verdere onderverdeling gemaakt naar industrie, huishoudens en verkeer. Voor Vlaanderen echter gelden deze plafonds enkel betrekking op stationaire bronnen. De onderverdeling verkeer is voor Vlaanderen dus niet van toepassing.

De doelstelling om tegen 2010 6% elektriciteit op te wekken uit hernieuwbare energiebronnen kan soms contraproductief werken voor het NEC-reductieprogramma. Bijvoorbeeld door meer elektriciteit te produceren uit ppo. PPO wordt klassiek ingezet in dieselmotoren welke veel hogere NO<sub>x</sub> emissies veroorzaken dan een klassieke stookinstallatie.

### 2.3.6.2. Actieplan fijn stof

Op 27 september 1996 werd de kaderrichtlijn inzake de beoordelingen van het beheer van de luchtkwaliteit goedgekeurd (RL 96/62/EG). Deze kaderrichtlijn vormt samen met 4 dochterrichtlijnen de basis voor het kwaliteitsbeleid Lucht binnen de EU.

De lidstaten moeten voor de zones en agglomeraties waar de luchtkwaliteitsnorm vermeerderd met de overschrijdingsmarge wordt overschreden een plan of programma opstellen. Dit programma of plan moet er voor zorgen dat binnen de daarvoor opgestelde termijn aan de grenswaarden wordt voldaan.

Het Vlaamse stofplan (ook wel ‘Saneringsplan fijn stof voor de zones met overschrijding in 2003 en aanpak fijn stofproblematiek in Vlaanderen’), goedgekeurd eind 2005, is het interne plan dat ondermeer werd opgesteld om te voldoen aan de Europese verplichtingen. Het plan bevat een reeks van maatregelen die de fijnstofproblematiek aanpakken. De maatregelen richten zich naar alle sectoren (industrie, wegverkeer, scheepvaart, huishoudens, tertiaire sector, land- en tuinbouw) op globaal Vlaams niveau enerzijds en naar specifieke plaatsen met verhoogde concentratie of zogenaamde hotspots (industriële hotspots, steden en gemeenten, snel- en gewestwegen) anderzijds.

Specifiek voor deze studie zijn de algemene maatregelen betreffende de stofnorm en maatregelen betreffende stookinstallaties van belang. Van de sectorale industriële maatregelen zijn vooral de maatregelen genomen en gepland in de houtverwerkende nijverheid van belang in het kader van deze studie. Ten slotte worden ook specifieke maatregelen getroffen in de land- en tuinbouwsector, die ook van belang kunnen zijn in het kader van deze studie. (bron: saneringsplan fijn stof voor de zones met overschrijding in 2003 en aanpak fijn stofproblematiek in Vlaanderen, 23 december 2005 en advies over het saneringsplan fijn stof, SERV en minaraad, november 2006)

### 2.3.7. Europese wetgeving

#### 2.3.7.1. Europese richtlijn ter bevordering van elektriciteitsopwekking uit hernieuwbare energiebronnen op de interne elektriciteitsmarkt (Richtlijn 2001/77/EG)

Deze richtlijn heeft tot doel het aandeel van hernieuwbare energiebronnen in de elektriciteitsproductie van de interne elektriciteitsmarkt te bevorderen.

**2.3.7.2. Europese richtlijn inzake de beperking van de emissies van bepaalde verontreinigende stoffen in de lucht door grote stookinstallaties (Richtlijn 2001/80/EG)**

Deze richtlijn is van toepassing op stookinstallaties met een nominaal thermisch vermogen van 50 MW of meer, ongeacht het toegepaste brandstoftype (vaste, vloeibare of gasvormige brandstof).

Onder biomassa wordt in deze richtlijn verstaan:

- plantaardig afval van land- en bosbouw;
- plantaardig afval van de levensmiddelenindustrie, indien de opgewekte warmte wordt teruggewonnen;
- vezelachtig afval afkomstig van de productie van ruwe pulp en van de productie van papier uit pulp, als het op de plaats van productie wordt meeverbrand en de opgewekte warmte wordt teruggewonnen;
- houtafval, maar met uitzondering van houtafval dat als gevolg van een behandeling met houtbeschermingsmiddelen of van het aanbrengen van een beschermingslaag, gehalogeneerde organische verbindingen of zware metalen kan bevatten, met inbegrip van met name dergelijk houtafval dat afkomstig is van constructie- en sloopafval;
- kurkafval.

In de EU emissiereggeving wordt dus een onderscheid gemaakt tussen biomassa enerzijds, welke valt onder de LCP richtlijn (2001/80/EG), en ander organisch-biologisch afval anderzijds, welke valt onder de afvalverbrandingsrichtlijn (2000/76/EG). Dit onderscheid stemt overeen met de definitie in de Vlaamse wetgeving en is alleen kwalitatief bepaald.

Tabel 18: Emissiegrenswaarden in de LCP richtlijn vaste brandstoffen

vaste brandstoffen (6% O <sub>2</sub> overschot)			
Sox	50-100 MWth	100-500 MWth	> 500 MWth
bestaande en nieuwe installaties (voor 27 november 2002 vergunning aangevraagd, uiterlijk 27 november 2003 in gebruik	2000	lin 2000-400	400
nieuwe installaties	50-100 MWth	100-300 MWth	> 300 MWth
biomassa	200	200	200
algemeen	850	200	200
<b>NOx (2) (3) (4)</b>			
bestaande en nieuwe installaties (voor 27 november 2002 vergunning aangevraagd, uiterlijk 27 november 2003 in gebruik		50-500 MWth	> 500 MWth
alle installaties tot en met 31 december 2015		600	500
alle installaties vanaf 1 januari 2016		450	400
nieuwe installaties	50-100 MWth	100-300 MWth	> 300 MWth
biomassa	400	300	200
algemeen	400	200 (5)	200
<b>Stof</b>			
bestaande en nieuwe installaties (voor 27 november 2002 vergunning aangevraagd, uiterlijk 27 november 2003 in gebruik		< 500 MWth	≥ 500 MWth
alle installaties tot en met 31 december 2015		100	50 (6)
nieuwe installaties	50-100 MWth	> 100 MWth	
	50	30	

**Tabel 10: Emissiegrenswaarden LCP richtlijn voor vloeibare brandstoffen**

		Vloeibare brandstoffen (3% O <sub>2</sub> overschot)		
		50-300 MW	300-500 MW	> 500 MW
<b>SOx</b>	bestaande en nieuwe installaties (voor 27 november 2002 vergunning aangevraagd, uiterlijk 27 november 2003 in gebruik)	1700	lin 1700-400	400
		50-100 MW	100-300 MW	> 300 MW
	nieuwe installaties	850	lin 400-200	200
<b>NOx (Z)</b>				
	bestaande en nieuwe installaties (voor 27 november 2002 vergunning aangevraagd, uiterlijk 27 november 2003 in gebruik, uitgezonderd gasturbines	50-500 MWth		> 500 MWth
		450		400
	nieuwe installaties, uitgezonderd gasturbines	50-100 MWth	100-300MWth	> 300MWth
		400	200 (5)	200
	gasturbines (8)	> 50 Mw th(7)		
		120		
<b>Stof</b>				
	bestaande en nieuwe installaties (voor 27 november 2002 vergunning aangevraagd, uiterlijk 27 november 2003 in gebruik)	alle installaties		
		50		
	nieuwe installaties	50-100 MW th	> 100 MWth	
		50	30	

**Tabel 20: Emissiegrenswaarden LCP-richtlijn gasvormige brandstoffen**

gasvormige brandstoffen (3% O <sub>2</sub> overschot)		
<b>SOx</b>		
bestaande en nieuwe installaties (voor 27 november 2002 vergunning aangevraagd, uiterlijk 27 november 2003 in gebruik	alle installaties	
algemeen	35	
vloeibaar gemaakt gas	5	
gassen met laag calorische waarde	800	
gas verkregen door vergassing van kolen	(1)	
nieuwe installaties	Alle installaties	
algemeen	35	
vloeibaar gemaakt gas	5	
gassen met laag calorische waarde uit cokesovens	400	
gassen met laag calorische waarde uit hoogovens	200	
<b>NOx (z)</b>		
bestaande en nieuwe installaties (voor 27 november 2002 vergunning aangevraagd, uiterlijk 27 november 2003 in gebruik, uitgezonderd gasturbines	50-500 Mwth	> 500 MWth
	300	200
nieuwe installaties, uitgezonderd gasturbines	50-300 Mwth	> 300 Mwth
aardgas	150	100
overige gassen	200	200
gasturbines	> 50 MWth	
aardgas (9)	50 (10)	
overige gassen	120	
<b>Stof</b>		
bestaande en nieuwe installaties (voor 27 november 2002 vergunning aangevraagd, uiterlijk 27 november 2003 in gebruik	alle installaties	
algemeen	5	
hoogovensgas	10	
de door de ijzer- en staalindustrie geproduceerd gas dat elders kan worden gebruikt	50	

gasvormige brandstoffen (3% O <sub>2</sub> overschot)	
nieuwe installaties	alle installaties
algemeen	5
hoogoven gas	10
de door de ijzer- en staalindustrie geproduceerd gas dat elders kan worden gebruikt	30

### 2.3.7.3. Richtlijn voor verbranding van afval (richtlijn 2000/76/EG)

Deze richtlijn heeft ten doel de negatieve milieueffecten van de verbranding en meeverbranding van afval, in het bijzonder de verontreiniging door emissies in lucht, bodem, oppervlaktewater en grondwater, alsmede de daaruit voortvloeiende risico's voor de menselijke gezondheid, te voorkomen of, zover als haalbaar is te beperken.

Dit doel wordt bereikt door voor verbrandings- en meeverbrandingsinstallaties voor afvalstoffen in de Gemeenschap strenge exploitatievoorwaarden, technische voorschriften en emissiegrenswaarden vast te stellen en tevens aan de voorschriften van Richtlijn 75/442/EEG te voldoen.

De Europese Verordening 1774/2002 inzake dierlijke bijproducten verwijst voor het verbranden van dierlijk vet naar deze afvalverbrandingrichtlijn.

In de verbrandings- of meeverbrandingsinstallatie worden overeenkomstig bijlage III van de richtlijn de volgende metingen van verontreinigende stoffen in de lucht verricht:

- continuumetingen van de volgende stoffen: NO<sub>x</sub>, mits daarvoor emissiegrenswaarden zijn vastgesteld, CO, totale hoeveelheid stof, TOC, HCl, HF en SO<sub>2</sub>;
- continuumetingen van de volgende procesparameters: temperatuur dichtbij de binnenwand of op een door de bevoegde autoriteit toegestaan ander representatief punt van de verbrandingskamer, zuurstofconcentratie, druk, temperatuur en waterdampgehalte van het rookgas;
- ten minste twee metingen per jaar van zware metalen, dioxinen en furanen; gedurende de eerste werkingsperiode van twaalf maanden dient evenwel ten minste om de drie maanden een meting te worden verricht. De lidstaten mogen zelf meetfrequenties bepalen voor de door hen vastgestelde emissiegrenswaarden voor polycyclische aromatische koolwaterstoffen of andere verontreinigende stoffen.

De richtlijn legt volgende emissiegrenswaarden op voor atmosferische emissies.

**Tabel 21:** Emissiegrenswaarden voor emissie naar de lucht in de richtlijn voor verbranding van afval bij 11% O<sub>2</sub>; droge rookgassen

Verontreinigende stof		
totaal stof	mg/m <sup>3</sup>	10
CO	mg/m <sup>3</sup>	50
NO <sub>x</sub>	mg/m <sup>3</sup>	
– voor bestaande verbrandingsinstallaties met een nominale capaciteit van meer dan 3 ton/uur of nieuwe installaties	mg/m <sup>3</sup>	200
– voor bestaande verbrandingsinstallaties met een nominale capaciteit van minder dan 3 ton/uur	mg/m <sup>3</sup>	400
SO <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup>	50
Dioxinen en furanen	ng TEQ/m <sup>3</sup>	0,1
TOC	mg/m <sup>3</sup>	10
HF	mg/m <sup>3</sup>	1
HCl	mg/m <sup>3</sup>	10
Zware metalen		
Cd en Tl	mg/m <sup>3</sup>	0,05
Hg	mg/m <sup>3</sup>	0,05
Overige zware metalen	mg/m <sup>3</sup>	0,5



### **2.3.7.4. Kaderrichtlijn afvalstoffen (richtlijn 2006/12/EG)**

De kaderrichtlijn afvalstoffen beoogt een samenhangend stelsel van maatregelen te voorzien die van toepassing zijn in alle lidstaten betreffende afvalstoffen. De richtlijn legt vier algemene verplichtingen op aan de lidstaten:

- Het bevorderen van de preventie of de vermindering van de productie en de schadelijkheid van afvalstoffen,
- Het bevorderen van de nuttige toepassing van afvalstoffen door recycling, hergebruik (al dan niet als secundaire grondstof) of het gebruik van afvalstoffen als energiebron.
- Zorgen dat de nuttige toepassing of verwijdering van afvalstoffen plaatsvindt zonder gevaar voor de gezondheid en het milieu,
- Het opzetten van een geïntegreerd en toereikend net van verwijderingsinstallaties rekening houdend met BBT.

### **2.3.7.5. Richtlijn voor de promotie van het gebruik van energie van hernieuwbare bronnen (richtlijn 2009/XX/EG)**

In deze richtlijn wordt een inzet van 20% hernieuwbare energie, een besparing van 20% energie en een reductie van de uitstoot van broeikasgassen met 20% tegen 2020 beoogt. Het plan moet de Europese energievoorziening op termijn minder afhankelijk maken van internationale markten, en moet van de EU een voorloper maken in groene technologie. (bron: de morgen, 23/01/08)

Deze richtlijn werd op 17/12/2008 goedgekeurd door het Europees parlement en de commissie.

### **2.3.7.6. Richtlijn betreffende grenswaarden voor zwaveldioxide, stikstofdioxide en stikstofoxiden, zwevende deeltjes en lood in de lucht (richtlijn 1999/30/EG)**

Deze richtlijn is de eerste van een aantal dochterrichtlijnen die inhoud geven aan Richtlijn 96/62/EG inzake de beoordeling en het beheer van de luchtkwaliteit (ook wel kaderrichtlijn genoemd). Doel van Richtlijn 1999/30 is om de luchtkwaliteit te beschermen en waar nodig te verbeteren door het invoeren van grenswaarden voor de concentraties van zwaveldioxide, stikstofdioxide en stikstofoxiden, zwevende deeltjes en lood in de lucht. Daarnaast worden ook alarmdrempels geformuleerd voor zwaveldioxide en stikstofdioxide in de lucht. Het doel hiervan is dat die concentraties met gemeenschappelijke methoden en criteria worden beoordeeld en dat adequate informatie omtrent die concentraties wordt verzameld en bekendgemaakt aan de bevolking. (bron: <http://www.eu-milieubeleid.nl>)

### **2.3.7.7. Richtlijn betreffende de luchtkwaliteit en schonere lucht (richtlijn 2008/xx/EG)**

Deze richtlijn is de samenvoeging van vier richtlijnen (waaronder RL 1999/30/EG) en één besluit inzake luchtkwaliteit. In deze richtlijn worden normen en streefdata vastgesteld voor het beperken van de concentraties fijn stof (PM<sub>2,5</sub>). De bestaande normen inzake luchtkwaliteit worden niet veranderd. De richtlijn biedt de lidstaten wel grotere flexibiliteit bij het naleven van de normen in gebieden waarde naleving van normen problematisch is.

De richtlijn verplicht de lidstaten om de blootstelling aan PM<sub>2,5</sub> in stedelijke gebieden tegen 2020 met gemiddeld 20% te doen dalen in vergelijking met het niveau van 2010. (bron: persbericht EU IP/08/570 van 14 april 2008)

### 2.3.8. IPPC richtlijn en BREF grote stookinstallaties

De Europese richtlijn 96/61/EG – meestal de IPPC-richtlijn genoemd – heeft een belangrijke impact op de milieueisen die aan de industrie gesteld worden. De Europese lidstaten worden verplicht tegen 2007 in alle grote bedrijven de vergunningsnormen opnieuw te bekijken. Bij de evaluatie van de milieunormen moet een integrale milieuvisie vooropstaan: afvalwater, afval-lucht, afval en energie moeten samen bekeken worden en niet afzonderlijk. De Beste Beschikbare Technieken (BBT) zijn hierbij het referentiepunt.

Om de lidstaten te helpen, bereidt de Europese Commissie BBT-referentiedocumenten voor. Deze zogenaamde BREFs geven per bedrijfstak aan wat de BBT zijn en welke milieuprestaties met de BBT haalbaar zijn.

In mei 2005 werd een BREF voor grote verbrandingsinstallaties gepubliceerd. Hierin worden de technieken beschreven die als Best Beschikbare Technieken kunnen worden beschouwd voor stookinstallaties van 50 MWth en groter. De BREF bevat een specifiek hoofdstuk voor installaties die biomassa als brandstof gebruiken

De BREF heeft in het algemeen betrekking op verbrandingsinstallaties met een nominaal thermisch vermogen van meer dan 50 MW. Het gaat onder meer om elektriciteitscentrales en andere industrieën die gebruik maken van ‘conventionele’ (gespecificeerde en op de markt beschikbare) brandstoffen en waarvan de verbrandingsinstallaties niet in een andere BREF behandeld zijn. Kolen, bruinkool, **biomassa**, turf, vloeibare en gasvormige brandstoffen (waaronder waterstof en biogas) worden **als conventionele brandstoffen beschouwd**. Afvalverbranding komt niet aan bod, maar wel medeverbranding van afval en teruggewonnen brandstoffen in grote verbrandingsinstallaties. De BREF heeft niet alleen betrekking op het verbrandingsproces, maar ook op de upstream- en downstreamactiviteiten die rechtstreeks verbonden zijn met het verbrandingsproces. Verbrandingsinstallaties die gebruik maken van procesgerelateerde residuen of bijproducten, of van brandstoffen die niet als specifieke brandstof op de markt kunnen worden gebracht alsmede verbrandingsprocessen die integraal deel uitmaken van een specifiek productieproces, worden in deze BREF niet behandeld.

#### *Werkingsomstandigheden:*

De aan de BBT gekoppelde emissieniveaus zijn gebaseerd op dagelijks gemiddelde, normale omstandigheden en een O<sub>2</sub>-gehalte van 6% / 3% / 15% (vaste brandstoffen / vloeibare en gasvormige brandstoffen / gasturbines) bij een normale belasting. Bij piekbelastingen, bij het opstarten of uitschakelen alsmede bij operationele problemen van de systemen voor de zuivering van de afgassen, kunnen tijdelijk hogere piekwaarden optreden.

#### 2.3.8.1. BBT en gerelateerde emissieniveaus

Voor het ontstoffen van de rookgassen van biomassa en turf gestookte installaties, zowel voor nieuwe als bestaande installaties zijn zowel mouwenfilters als ESP filters BBT. Hierbij moet worden opgemerkt dat wanneer brandstoffen worden gebruikt met lage S inhoud, zoals biomassa, dat het reductie potentieel van een ESP filter verlaagt wanneer er lage SO<sub>2</sub> concentraties zijn in de rookgassen. Vandaar dat het gebruik van een mouwenfilter met een stofemissie van ongeveer 5mg/m<sup>3</sup> de geprefereerde techniek is.

Cyclonen en mechanische collectoren worden niet als BBT beschouwd, maar ze kunnen gebruikt worden als voorbehandeling.

In onderstaande tabel worden de BBT geassocieerde emissiegrenswaarden voor stof weergegeven. Deze emissiegrenswaarden houden rekening met de noodzaak om fijne deeltjes te reduceren en de emissie van zware metalen te minimaliseren, die de neiging hebben om de accumuleren op de fijne stofdeeltjes.

**Tabel 22:** BBT en emissieniveaus voor het terugdringen van de uitstoot van vaste deeltjes bij verbranding van biomassa en turf (6% O<sub>2</sub>, BREF LCP)

Capacity (MW <sub>th</sub> )	Dust-emission level (mg/Nm <sup>3</sup> )		BAT to reach these levels	Monitoring	Applicability	Comments
	New Plants	Existing Plants				
50-100	5-20	5-30	FF/ESP	Continuous	New and existing plants	The reduction rate associated with the use of a fabric filter is considered to be 99,95% or higher and is, therefore, considered as the first BAT choice for dedusting biomass- and peatfired plants. The reduction rate associated with the use of an ESP is considered to be 99,5% or higher.
100-300	5-20	5-20	FF/ESP	Continuous	New and existing plants	
>300	5-20	5-20	FF/ESP	Continuous	New and existing plants	

**Notes:**

ESP (Electrostatic precipitator)

FF (Fabric filter)

Het gehalte aan mineralen van brandstoffen is afhankelijk van de oorsprong. Biomassa en turf bevatten bepaalde concentraties aan sporen element zoals zware metalen. Het gedrag van zware metalen tijdens de verbranding omvat een complex van chemische en fysische processen. De meeste zware metalen verdampen tijdens de verbranding en condenseren later op de vliegassen. Vandaar is het BBT om de emissie van zware metalen te reduceren door gebruik te maken van een mouwenfilter of een ESP met hoge performantie, met de voorkeur voor een mouwenfilter.

Het zwavelgehalte van biomassa is laag. Wanneer dit zwavelgehalte zeer laag is kan de biomassa verbrand worden zonder ontzwaveling in een wervelbed installatie. Wanneer het zwavelgehalte hoger ligt, worden zowel primaire als secundaire reductietechnieken als BBT beschouwd. In installaties met een capaciteit < 100 MW worden natte ontzwaveling als te duur beschouwd. Droge injectie processen zijn effectief genoeg om de dezelfde emissieniveaus te behalen. Ook de combinatie van de injectie van sorbent in de vuurhaard gecombineerd met een secundaire maatregel wordt als BBT beschouwd. Ten slotte wordt voor sommige installatie co-verbranding als BBT beschouwd. In onderstaande tabel wordt een samenvatting van de BBT gegeven.

**Tabel 23:** BBT en emissieniveaus voor de vermindering van de SO<sub>2</sub>-uitstoot van bepaalde verbrandingsinstallaties (6% O<sub>2</sub>, BREF LCP)

Capacity (MW <sub>th</sub> )	Combustion technique	SO <sub>2</sub> emission level associated with BAT (mg/Nm <sup>3</sup> )		BAT options to reach these levels (non-exhaustive list)	Applicability	Monitoring
		New plants	Existing plants			
50-100	PC	200-300	200-300	Limestone injection Calcium hydroxide injection in dry form before the baghouse or ESP, FGD (sds)	New and existing plants	Continuous
	FBC (BFBC and CFBC)	200-300	200-300	Co-combustion of biomass and peat. Limestone injection, Calcium hydroxide injection in dry form before the baghouse or ESP, FGD (sds)	New and existing plants	Continuous

Capacity (MW <sub>th</sub> )	Combustion technique	SO <sub>2</sub> emission level associated with BAT (mg/Nm <sup>3</sup> )		BAT options to reach these levels (non-exhaustive list)	Applicability	Monitoring
		New plants	Existing plants			
100-300	PC	200-300	200-300	Limestone injection Calcium hydroxide injection in dry form before the baghouse or ESP, FGD (sds)	New and existing plants	Continuous
	FBC (BFBC and CFBC)	150-250	150-300	Co-combustion of biomass and peat. Limestone injection, Calcium hydroxide injection in dry form before the baghouse or ESP, FGD (sds)	New and existing plants	Continuous
>300	PC	50-150	50-200	FGD (???) FGD (SDS) Seawater scrubbing Combined techniques for the reduction of NO <sub>x</sub> and SO <sub>2</sub>	New and existing plants	Continuous
	FBC (BFBC and CFBC)	50-200	50-200	Co-combustion of biomass and peat. Limestone injection, Calcium hydroxide injection in dry form before the baghouse or ESP, FGD (sds) or FGD (wet)	New and existing plants	Continuous

**Notes:**

PC (Pulverised combustion)

CFBC (Circulating fluidised bed combustion)

FGD(wet) (Wet flue-gas desulphurisation)

BFBC (Bubbling fluidised bed combustion)

PFBC (Pressurised fluidised bed combustion)

FGD (sds) (Flue-gas desulphurisation by using a spray dryer)

Ter reductie van de NO<sub>x</sub> uitstoot wordt bij verbranding de combinatie van verschillende primaire maatregelen beschouwd als BBT, soms in combinatie met nageschakelde technieken zoals SCR of SNCR

**Tabel 24:** BBT en emissieniveaus voor de vermindering van de NO<sub>x</sub> uitstoot bij verbrandingsinstallaties op turf of biomassa (6% O<sub>2</sub>, BREF LCP)

Capacity (MW <sub>th</sub> )	Combustion technique	NO <sub>x</sub> emission level associated with BAT (mg/Nm <sup>3</sup> )		BAT options to reach these levels (not exhaustive list)	Applicability	Monitoring
		New plants	Existing plants			
50-100	Grate-firing	170-250	200-300	Spreader-stoker		Continuous
	PC	150-250	150-300	Combination of Pm (such as air and fuel staging, low NO <sub>x</sub> burner, etc.) SCR	New and existing plants	Continuous
	FBC (BFBC and CFBC)	150-250	150-300	Combination of Pm (such as air distribution of by flue-gas recirculation)	New and existing plants	Continuous
100-300	PC	150-200	150-250	Combination of Pm (such as air and fuel staging, low NO <sub>x</sub> burner) if necessary SNCR and/or SCR	New and existing plants	Continuous
	FBC (BFBC, and CFBC)	150-200	150-250	Combination of Pm (such as air distribution of by flue-gas recirculation)	New and existing plants	Continuous
>300	PC	50-150	50-200	Combination of Pm (such as air and fuel staging, low NO <sub>x</sub> burner) if necessary SNCR and/or SCR	New and existing plants	Continuous
	FBC (BFBC and CFBC)	50-150	50-200	Combination of Pm (such as air distribution or by flue-gas recirculation), if necessary SNCR and/or SCR	New and existing plants	Continuous

**Notes:**

PC (Pulverised combustion)

CFBC (Circulating fluidised bed combustion)

Pm (Primary measures)

BFBC (Bubbling fluidised bed combustion)

PFBC (Pressurised fluidised bed combustion)

Voor het ontstoffen van de rookgassen van stookinstallaties gestookt met vloeibare brandstoffen is het gebruik van een ESP of mouwenfilter BBT. Zoals bij vaste brandstoffen verdampen de aanwezige zware metalen tijdens de verbranding en condenseren later op het oppervlak van de vliegassen. ESP is de meest gebruikte ontstoffingstechniek gezien het hoger risico op brand wanneer een mouwenfilter wordt gebruikt. Dit risico op brand wordt gereduceerd wanneer ook een ontzwaveling wordt gebruikt.

**Table 25: BBT gerelateerde emissieniveaus voor stof voor stookinstallaties gestookt met vloeibare brandstoffen (3% O<sub>2</sub>, BREF LCP)**

Capacity (MWth)	Dust emission level (mg/Nm <sup>3</sup> )		BAT to reach these levels	Monitoring	Applicability
	New plants	Existing plants			
50-100	5-20 <sup>(1)</sup>	5-30 <sup>(2)</sup>	ESP/FF	Continuous <sup>(1, 2)</sup>	New and existing plants
100-300	5-20 <sup>(3)</sup>	5-25 <sup>(4)</sup>	ESP/FF/in combustion FGD (wet) (depending on the specific plant size)	Continuous	New and existing plants
>300	5-10 <sup>(5)</sup>	5-20 <sup>(6)</sup>	ESP/FF/in combination with FGD (wet)	Continuous	New and existing plants

**Notes:**

ESP (Electrostatic precipitator)

FF (Fabric Filter)

FGD(wet) (Wet flue-gas desulphurisation)

Industry and one Member State declared that emission levels have to be presented for cases where dust emissions are controlled by ESPs only without the application of a wet FGD. The following levels were proposed:

1, 2 10-50 mg/Nm<sup>3</sup> for ESP, monitoring periodically

3, 5 upper level 30 mg/Nm<sup>3</sup> for ESP

4, 6 upper level 50 mg/Nm<sup>3</sup> for ESP

1-6 50-100 mg/Nm<sup>3</sup> for burners with steam atomisation or use of additives regardless of the existing power plant's capacity.

3-6 Industry claimed an upper level of 15 mg/Nm<sup>3</sup> for ESP or FF in combination with a wet FGD

4, 6 One Member State proposed that the BAT range for existing plants with a capacity over 100 MW<sub>th</sub> should be 10-50 mg/Nm<sup>3</sup>, because these levels comply with the Member States emission limits.

2 One Industry representative mentioned that dust emissions of around 50 mg/Nm<sup>3</sup> are achieved. To reduce this to 30 mg/Nm<sup>3</sup> by fitting fabric filters or ESPs to achieve a corresponding reduction of around 20 tonnes of dust per year cannot represent BAT.

Voor het reduceren van SO<sub>x</sub> emissie bij de verbranding van vloeibare brandstoffen wordt in eerste plaats het gebruik van brandstoffen met laag zwavelgehalte of co-verbranding beschouwd als BBT. Als nageschakelde technieken worden zowel een natte scrubber als een droge scrubber beschouwd als BBT. Voor kleinere installaties (< 100 MW) echter wordt de natte scrubber als te duur beschouwd en vandaar dat deze niet BBT is. In onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven.

**Tabel 26:** BBT gerelateerde emissieniveaus voor SO<sub>x</sub> in stookinstallaties gestookt met vloeibare brandstoffen (3% O<sub>2</sub>, BREF LCP)

Capacity (MW <sub>th</sub> )	SO <sub>2</sub> emission level associated with BAT (mg/Nm <sup>3</sup> )		BAT options to reach these levels	Applicability	Monitoring
	New plants	Existing plants			
50-100	100-350 <sup>(1)</sup>	100-350 <sup>(2)</sup>	Low sulphur fuel oil co-combustion of gas and oil FGD (dsi) or FGD (sds)	New and existing plants	Continuous
100-300	100-200 <sup>(3)</sup>	100-250 <sup>(4)</sup>	Low sulphur fuel oil co-combustion of gas and oil and FGD (dsi) or FGD (sds) or FGD (wet) (depending on the plant size) Seawater scrubbing Combined techniques for the reduction of NO <sub>x</sub> and SO <sub>2</sub>	New and existing plants	Continuous
>300	50-150 <sup>(5)</sup>	50-200 <sup>(6)</sup>	Low sulphur fuel oil co-combustion of gas and oil and FGD (wet) FGD (sds) Seawater scrubbing Combined techniques for the reduction of NO <sub>x</sub> and SO <sub>2</sub>	New and existing plants	Continuous

**Notes:**

**FGD(w et)** (Wet flue-gas desulphurisation) FGD(sds) (Flue-gas desulphurisation by using a spray drier)

**FGD(dsi)** (Flue-gas desulphurisation by dry sorbent injection)

The following levels were proposed by Industry and the one Member State:

1,2 range to be 200-850 mg/Nm<sup>3</sup>

3,4,6 upper level 400 mg/Nm<sup>3</sup>

5 upper level 200 mg/Nm<sup>3</sup>

2,4,6 Industry declared no BAT level should be given if low sulphur fuel is used.

Their rationale is that for oil-fired LCPs, the SO<sub>2</sub> emission levels by using low sulphur fuel in combination with FGD are designed to optimize environmental benefit with the high cost of fuel and the FGD. The high net unit efficiency requirement has to be optimized among the cost of the fuel, the emission control technique performance (low emission levels) and the related energy consumption (energy penalty).

The Member State argued that heavy fuel oil burners operate with a very high cost fuel. The SO<sub>2</sub> reduction techniques and the associated emission levels have to be reasonable, in order to ensure the economic viability of the plants, with very careful assessment of the environmental benefit against all the costs and the cross-media effects involved. It is very important for existing plants to allow the use of low sulphur fuel only in order to avoid any drop in net unit efficiency.

6 One Member State proposed that the BAT range for existing plants over 300 MW should be 200-400 mg/Nm<sup>3</sup>, because these levels comply with the Member States emission limits.

Voor installaties met vloeibare brandstoffen wordt het reduceren van de NO<sub>x</sub> door het gebruik van primaire en of secundaire maatregelen als BBT beschouwd. In onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van de BBT.

**Tabel 27: BBT gerelateerde NOx emissieniveaus voor stookinstallaties gestookt met vloeibare brandstoffen (3% O<sub>2</sub>, BREF LCP)**

	NOx emission level associated with BAT (mg/Nm <sup>3</sup> )		BAT options to achieve these levels	Applicability	Monitoring
	New plants	Existing plants			
50-100	150-300 <sup>(1)</sup>	150-450	Combination of Pm (such as air and fuel staging, low-NOx burner, etc. For LFO firing NOx <300 mg/Nm <sup>3</sup> For HFO firing with max 0,2% N in fuel oil NOx <360 mg/Nm <sup>3</sup> For HFO firing with max 0,3% N in fuel oil NOx <450 mg/Nm <sup>3</sup> SCR SNCR in case of HFO firing	New and existing plants	Continuous <sup>(6)</sup>
100-300	50-150 <sup>(2)</sup>	50-200 <sup>(3)</sup>	Combination of Pm (such as air and fuel staging, low-NOx burner, reburning, etc) in combination with SNCR, SCR or combined techniques	New and existing plants	Continuous
>300	50-100 <sup>(4)</sup>	50-150 <sup>(5)</sup>	Combination of Pm (such as air and fuel staging, low-NOx burner, reburning, etc) in combination with SCR or combined techniques	New and existing plants	Continuous

Industry and one Member State proposed the following levels

- 1, 5 upper level 400 mg/Nm<sup>3</sup>
- 2, 4 upper level 200 mg/Nm<sup>3</sup>
- 3 upper level 450 mg/Nm<sup>3</sup>
- 6 Industry claimed that they wanted to change 'continuous' by 'periodical' monitoring  
The rationale given for existing plants is that the new values proposed allow power plants to use heavy fuel oil with high N content with NOx abatement primary measures only
- 5 One Member State proposed that the BAT range for existing plants over 300 MW should be 100-400 mg/Nm<sup>3</sup>, because these levels comply with the Member States emission limits
- 1 A TWG member proposed to reduce the lower end of the range to 100 mg/Nm<sup>3</sup>, because this reflected the performance of SCRs

Voor *gasturbines* gestookt met *vloeibare brandstoffen* wordt de injectie van water of stoom als BBT beschouwd voor de reductie van NOx emissies. Vandaag de dag zijn er 'dry low NOx premix burners' beschikbaar voor gasturbines gestookt met vloeibare brandstoffen. Deze branders zijn BBT voor nieuwe turbines wanneer de techniek beschikbaar is op de markt. SCR kan eveneens gebruikt worden, maar uit de economische analyse blijkt dat de toepassing geval per geval geëvalueerd moet worden. Voor de reductie van SOx is het gebruik van vloeibare brandstoffen met laag zwavelgehalte BBT.

Voor *motoren* gestookt met *vloeibare brandstoffen* wordt voor de reductie van de emissie van stof en zware metalen het nemen van primaire maatregelen in combinatie met het gebruik van brandstoffen met laag as en zwavel gehalte beschouwt als BBT. Om de emissies van SOx te reduceren wordt in eerste instantie het gebruik van brandstoffen met een laag zwavel gehalte beschouwt als BBT. Wanneer deze niet beschikbaar zijn wordt het gebruik van een rookgasontzwaveling als BBT gezien. Voor NOx emissies te reduceren worden het gebruik van zowel primaire als secundaire maatregelen beschouwd als BBT.

Bij de verbranding van met stof en H<sub>2</sub>S beladen gassen wordt het reinigen van het gas voor verbranding als BBT beschouwd wanneer deze vervuiling anders schadelijk zou zijn voor de turbine of motor. Het is BBT om het H<sub>2</sub>S gehalte van het gas te reduceren tot 20-150 mg/Nm<sup>3</sup>. Deze gehalten leiden tot SO<sub>2</sub> emissies van 5-20 mg/Nm<sup>3</sup> (15% O<sub>2</sub>). Het verbranden van dit gas geeft geen aanleiding tot de emissie van stof. Over het algemeen wordt het reduceren van NOx als BBT beschouwd bij gasturbine, gasmotoren en gas gestookte stookinstallaties. Voor nieuwe gasturbines zijn 'dry low NOx premix burners' BBT. Voor bestaande gas turbines zijn water en

stoominjectie of de conversie naar 'dry low NOx premix burner' BBT. Voor gasmotoren is lean-burn BBT. Voor de meest gasturbines en gasmotoren is SCR eveneens BBT. Retrofitting van een gecombineerde gas turbine is technisch mogelijk, maar economisch niet haalbaar voor bestaande installaties. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de BBT.

**Tabel 28: BBT voor de reductie van NOx en CO emissies van gas gestookte verbrandingsinstallaties**

Plant type	Emission level associated with BAT (mg/Nm <sup>3</sup> )		O <sub>2</sub> level (%)	BAT options to reach these levels
	NOx	CO		
<b>Gas turbines</b>				
New gas turbines	20-50	5-100	15	Dry low NOx premix burners or SCR
DLN for existing gas turbines	20-75	5-100	15	Dry low NOx premix burners as retrofitting packages if available
Existing gas turbines	50-90*	30-100	15	Water and steam injection or SCR
<b>Gas engines</b>				
New gas engines	20-75*	30-100*	15	Lean-burn concept or SCR and oxidation catalyst for CO
New gas engine with HRSG in CHP mode	20-75*	30-100*	15	Lean-burn concept or SCR and oxidation catalyst for CO
Existing gas engines	20-100*	30-100	15	Low NOx tuned
<b>Gas-fired boilers</b>				
New gas-fired boilers	50-100*	30-100	3	Low NOx burners or SCR or SNCR
Existing gas-fired boiler	50-100*	30-100	3	
<b>CCGT</b>				
New CCGT without supplementary firing (HRSG)	20-50	5-100	15	Dry low NOx premix burners or SCR
Existing CCGT without supplementary firing (HRSG)	20-90*	5-100	15	Dry low NOx premix burners or water and steam injection or SCR
New CCGT with supplementary firing	20-50	30-100	Plant spec.	Dry low NOx premix burners and low NOx burners for the boiler part or SCR or SNCR
Existing CCGT with supplementary firing	20-90*	30-100	Plant spec.	Dry low NOx premix burners or water and steam injection and low NOx burners for the boiler part or SCR or SNCR

SCR: Selective catalytic reduction of NOx

SNCR: Selective non catalytic reduction of NOx

DLN: dry low NOx

HRSG: heat recovery steam generator

CHP: Cogeneration

CCGT: combined cycle gas turbine

\* Some split views appeared on these values and are reported in Section 7.5.4 of the main document..

### 2.3.9. Buitenlandse wetgeving

#### 2.3.9.1. *Nederland* (bron: persoonlijke communicatie, [www. Infomil.nl](http://www.infomil.nl), [wetten.overheid.nl](http://wetten.overheid.nl))

Het wetgevend kader voor de verbranding van hernieuwbare brandstoffen wordt in Nederland gevormd door het Besluit Verbranden Afvalstoffen (BVA), het Besluit emissie-eisen middel-grote stookinstallaties (BEMS) welke het Besluit emissie eisen stookinstallaties (BEES) opvolgt sinds december 2008, en de Nederlandse emissierichtlijn (NeR).

##### a. *Besluit Verbranden Afvalstoffen (BVA)*

Voor de verbranding van hernieuwbare brandstoffen die door het bevoegde gezag als afvalstoffen worden beschouwd geldt in principe het BVA. Hierop zijn echter twee uitzonderingen:



- Plantaardige afvalstromen. Om te bepalen welke afvalstromen niet onder het BVA vallen werd de “witte/gele lijst” opgesteld. Witte lijst stromen zijn uitgezonderd van het BVA, gele lijst stromen niet.
- Verbranding van vergistingsgassen. Het BVA is enkel van toepassing op thermische behandeling van afvalstromen (verbranden en vergassen).

Het uitgangspunt van de indeling in witte en gele lijst is of de hernieuwbare brandstof voldoet aan de definitie van “biomassa” zoals opgenomen in richtlijn 2001/80/EG (LCP-richtlijn). De witte lijst bevat zowel afvalstoffen als niet afvalstoffen. Het voorkomen van een afvalstof op de witte lijst verandert niets aan de status “afvalstof”. Hierdoor blijft bij ook bij de inzet van witte lijst afvalstoffen het bevoegde gezag de provincie.

De witte en gele lijst werd getoetst aan het Landelijke Afvalbeheer Plan (LAP<sup>7</sup>). Deze toetsing is van belang voor de afvalstromen waarvoor de inzet voor energieopwekking niet is toegestaan.

### Witte lijst

De witte lijst bevat:

- plantaardige producten, materialen of afvalstromen uit land- en bosbouw;
- plantaardige afvalstoffen uit de voedingsindustrie;
- plantaardige afvalstoffen uit de ruwe pulpproductie en de papierproductie uit pulp;
- kurk;
- houtafval.

Per categorie is er een uitgebreidere lijst beschikbaar die meer in detail gaat over welke stromen juist bedoeld worden met deze categorieën.

Mengsels van uitsluitend witte lijst stromen blijven witte lijststromen. Witte lijst stromen kunnen afhankelijk van de locatie of de manier van vrijkomen beperkte hoeveelheden verontreinigingen bevatten. Deze “niet te vermijden verontreinigingen” mogen maximaal 3% bedragen.

Plantaardige bio-olie wordt beschouwd als plantaardige biomassa, en zijn dus uitgezonderd van het BVA. Deze uitzondering geldt echter niet als de bio-olie vermengd is met dierlijke of minerale oliën. Om zeker te zijn van de zuivere plantaardige oorsprong werd er een KIWA-productcertificaat in het leven geroepen. Wanneer er twijfel is over de herkomst van de vloeibare hernieuwbare brandstof kan het bevoegde gezag in de vergunning opnemen dat de hernieuwbare brandstof onder certificaat geleverd moet worden. Het is niet wettelijk verplicht om alle bio-brandstof te voorzien van een productcertificaat.

### Gele lijst

De gele lijst omvat biomassa bevattende afvalstromen die niet onder de uitzondering van de werkingssfeer van het BVA vallen. Volgende niet-limitatieve lijst geeft een overzicht:

- afvalstoffen die geheel of gedeeltelijk bestaan uit dierlijk producten;
- geverfd of geïmpregneerd hout (en hieruit verkregen houtskool);
- houtmengsels waarin geverfd of geïmpregneerd hout aanwezig kan zijn (en hieruit verkregen houtskool);
- champost;
- zuiveringsslib;

<sup>7</sup> In het LAP staat het beleid voor het beheer van alle afvalstoffen waarop de Wet milieubeheer van toepassing is. Het geeft onder meer het beleid voor nuttige toepassing en voor het storten en verbranden van afval. Het LAP bevat een beleidskader, sectorplannen, capaciteitsplannen en bijlagen.

- bleekarde;
- GFT-afval;
- residuen uit GFT-compostering;
- organische natte fractie (ONF);
- swill;
- kunststofbevattende afvalstromen;
- oud papier en karton;
- dierlijke mest;
- gemengde huishoudelijke en bedrijfsafvalstromen;
- gas afkomstig uit een vergassingproces van gele lijst stoffen met uitzondering van gas dat voorkomt op de witte lijst;
- (pyrolyse)olie afkomstig uit gele lijststoffen.

Wanneer een afvalstroom van de gele lijst wordt vergast kan het zijn dat deze stroom wordt omgezet in een schone stroom. Volgens de circulaire “emissiebeleid voor energiewinning uit biomassa en afval” zal dan per geval en stof een beoordeling worden gemaakt door het bevoegde gezag over het van toepassing zijnde emissieregime.

Een mengsel van witte en gele lijst stromen worden beschouwd als gele lijststroom.

In onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van de emissiegrenswaarden zoals opgenomen in het BVA.

**Tabel 29:** Overzicht EGW volgens het BVA, bij 11%O<sub>2</sub>

<b>BVA</b>	
Het totaal aan stofdeeltjes	5 mg/m <sup>3</sup>
Koolmonoxide	50 mg/m <sup>3</sup>
Zoutzuur	10 mg/m <sup>3</sup>
Waterstoffluoride	1 mg/m <sup>3</sup>
Zwaveldioxide	50 mg/m <sup>3</sup>
Stikstofoxiden	
verbrandingsinstallaties met een vermogen ≥ 20 MWth* [1]	200 mg/m <sup>3</sup>
verbrandingsinstallaties met een vermogen < 20 MWth en een energetisch rendement ≥ 40%* [2]	400 mg/m <sup>3</sup>
verbrandingsinstallaties met een vermogen < 20 MWth en een energetisch rendement < 40%* [3]	200 mg/m <sup>3</sup>
gasvormige en vluchtige organische stoffen, uitgedrukt in totaal organische koolstof	10 mg/m <sup>3</sup>
Kwik	0,05 mg/m <sup>3</sup>
de som van cadmium en thallium	0,05 mg/m <sup>3</sup>
de som van antimoon, arseen, chroom, kobalt, koper, lood, mangaan, nikkel en vanadium	0,5 mg/m <sup>3</sup>
dioxinen en furanen	0,1 ng/m <sup>3</sup>

**b. Besluit Emissie Eisen Stookinstallaties (BEES) en Besluit emissie-eisen middelgrote stookinstallaties (BEMS)**

Als het BVA niet van toepassing is kan het BEES het wetgevend kader zijn. Er wordt onderscheid gemaakt in het BEES A en BEMS (Besluit emissie-eisen middelgrote stookinstallaties, vroeger BEES B). De grens tussen BEES A en BEMS wordt niet rechtstreeks bepaald door een vermogensgrens maar door de reikwijdte van BEES A. Het BEES A is van toepassing op een 300-tal grote inrichtingen, waaronder elektriciteitsproductiebedrijven, raffinaderijen en grote chemische bedrijven. Voor deze inrichtingen is de provincie het bevoegde gezag. Het BEES A kan beschouwd worden als de implementatie van de Europese LCP-richtlijn. BEMS is van toepassing op ketelinstallaties, gasturbines, gasturbine-installaties en zuigermotoren. Stookinstallaties die opgesteld staan in inrichtingen die niet onder BEES A vallen, vallen eveneens onder BEMS.

Sommige installaties zoals ketels op aardgas, gasolie of zware stookolie met een vermogen < 0,9 (wordt 1) MW en bepaalde gasturbine(installaties) en zuigermotoren zoals scheepsdiesels en noodstroomaggregaten worden uitgesloten van BEMS. Indien in deze laatste gassen worden verbrand afkomstig van gele lijst afvalstromen geldt de regeling van het BVA. Anders vallen deze installaties onder de NeR.

In de huidige BEES A (december 2008) wordt geen onderscheid gemaakt tussen fossiele en niet-fossiele brandstoffen. Er wordt enkel onderscheid gemaakt tussen de toestand waarin de brandstof zich bevindt (vast – vloeibaar – gas) en het type installatie waarin de brandstof wordt gebruikt. Vandaar dat verondersteld kan worden dat de emissiegrenswaarden zoals geformuleerd in BEES A gelden voor zowel fossiele als niet-fossiele brandstoffen.

**Tabel 30:** Overzicht geldende emissiegrenswaarden voor vaste brandstoffen volgens het BEES A, bij 6%O<sub>2</sub>

BEES A				
brandstof	datum vergunning	thermisch vermogen	SO <sub>2</sub> -eis (mg/m <sup>3</sup> )	toelichting en/of eventueel te stellen eis
Alle overige installaties vergund vóór 29-5-87: géén SO <sub>2</sub> -eisen.				
Vast	op/na 29-5-87 tot 1-1-90	≥ 300 MW	400	Rookgasontzweveling minimaal 85% (art. 11.2).
	op/na 1-1-90	≥ 300 MW	200	Rookgasontzweveling minimaal 85% (art. 11.2).
	op/na 29-5-87	100 MW ≤ tv < 300 MW	700	Voor vaste brandstoffen anders dan kolen kan een strengere SO <sub>2</sub> -eis worden gesteld tot t/m 250 mg/m <sup>3</sup> (art. 27.2.a.1°).
	tot 27-11-02			
	op/na 27-11-02	100 MW ≤ tv < 300 MW	200	
	op/na 29-5-87	50 MW ≤ tv < 100 MW	700	Voor vaste brandstoffen anders dan kolen kan een strengere SO <sub>2</sub> -eis worden gesteld t/m 250 mg/m <sup>3</sup> (art. 27.2.a.1°).
	tot 27-11-02			
	op/na 27-11-02	50 MW ≤ tv < 100 MW	200	Deze eis geldt indien de installatie met biomassa wordt gestookt.
	700		kolen	
op/na 29-5-87	< 50 MW	700	Voor vaste brandstoffen anders dan kolen kan een strengere SO <sub>2</sub> -eis worden gesteld t/m 250 mg/m <sup>3</sup> (art. 27.2.a.1°).	

BEES A				
brandstof	datum vergunning	thermisch vermogen	NO <sub>x</sub> -eis (mg/m <sup>3</sup> )	toelichting en/of eventueel te stellen eis
Alle overige installaties vergund vóór 29-5-87: géén NO <sub>x</sub> -eisen.				
Vast	op/na 29-5-87 tot 1-1-89	≥ 500 MW	400	M.i.v. 1 januari 2016 wordt de eis 200 mg/m <sup>3</sup> .
	In 1989	≥ 500 MW	300	M.i.v. 1 januari 2016 wordt de eis 200 mg/m <sup>3</sup> .
	op/na 1-1-90	≥ 500 MW	200	
	op/na 29-5-87 tot 1-1-89	300 MW ≤ tv < 500 MW	400	
	In 1989	300 MW ≤ tv < 500 MW	300	
	op/na 1-1-90	300 MW ≤ tv < 500 MW	200	
	op/na 29-5-87 tot 1-8-88	< 300 MW	650	En indien tv ≥ 50MW wordt de eis op 1-1-08 600 mg/m <sup>3</sup> .
	op/na 1-8-88 t/m 14-10-92	< 300 MW	500 (1)	
	15-10-92 t/m 31-12-93	< 300 MW	200	
	op/na 1-1-94	< 300 MW	100	
brandstof	datum vergunning	thermisch vermogen	stofeis (mg/m <sup>3</sup> )	toelichting en/of eventueel te stellen eis
Vast	Vóór 29-5-87	–	–	Geen stofeis
Vast	op/na 29-5-87 tot 15-10-92	n.v.t.	50	Voor vaste brandstoffen anders dan kolen kan een strengere stofeis gesteld worden t/m 5 mg/m <sup>3</sup> (art. 27.2.a.2°). Voor kolen kan een strengere eis gesteld worden t/m 20 mg/m <sup>3</sup> (art. 27.2.b).
	op/na 15-10-92	n.v.t.	20	Tijdens storingen in de voorziening voor de ontzwaveling van rookgassen mag de stofemissie max. 50 mg/m <sup>3</sup> bedragen (art. 11.4.b). Voor vaste brandstoffen anders dan kolen kan een strengere stofeis gesteld worden t/m 5 mg/m <sup>3</sup> (art. 27.2.a.2°).

**Tabel 31:** Emissie-eisen stookinstallaties op vloeibare brandstoffen volgens BEES A, bij 3%O<sub>2</sub>

type installatie	brandstof	datum vergunning	thermisch vermogen	SO <sub>2</sub> -eis (mg/m <sup>3</sup> )	toelichting en/of eventueel te stellen eis
Stookinstallatie	Vloeibaar m.u.v. gasolie	op/na 29-5-87	≥ 300 MW	200	Bij zware stookolie rookgasontzwa- veling min. 85% (art. 12.2).
		op/na 29-5-87 tot 27-11-02	100 MW ≤ tv < 300 MW	1700	Indien het zwavelgehalte van de brandstof 1% of minder is, is aan de eis voldaan (art. 33.3).
		op/na 27-11-02	100 MW ≤ tv < 300 MW	400-200	400-200 mg/m <sup>3</sup> lineair aflopend tussen 100 en 300 MW.
		op/na 29-5-87 tot 27-11-02	50 MW ≤ tv < 100 MW	1700	Indien zware stookolie met een zwavelgehalte van 1% of minder wordt gestookt is aan de eis voldaan (art. 33.3).
		op/na 27-11-02	50 MW ≤ tv < 100 MW	850	
		op/na 29-5-87	< 50 MW	1700	Indien het zwavelgehalte van de brandstof 1% of minder is, is aan de eis voldaan (art. 33.3).
Alle overige gevallen: géén SO <sub>2</sub> -eisen.					
type installatie	brandstof	datum vergunning	thermisch vermogen	NO <sub>x</sub> -eis (mg/m <sup>3</sup> )	toelichting en/of eventueel te stellen eis
Stookinstallatie in elektriciteitsbedrijf	Vloeibare brandstoffen	vóór 29-5-87	Alle	700 <sup>(1,3)</sup>	Bij het stoken van een in de inrichting gegenereerde vloeibare brandstof met een stikstofgehalte > 0,3% moet een factor toegepast worden (art 24.4).
Stookinstallatie, niet in elektriciteitsbedrijf	Overige vloeibare brandstoffen	vóór 29-5-87	Alle	200 <sup>(1,2)</sup>	Bij toepassen luchtvoorverwarming sinds vóór 15-10-92 kan een factor toegepast worden (art. 24.2.b). De eis na correctie met de factor mag ten hoogste 225 mg/m <sup>3</sup> bedragen (art. 25.2). Het bevoegd gezag kan een minder strenge eis stellen dan krachtens art. 16.4. jo art. 24, doch niet minder streng dan 700 mg/m <sup>3</sup> (art. 28.9).
Stookinstallatie anders dan procesformuis	Vloeibaar	op/na 29-5-87 tot 1-8-88	Alle	450 <sup>(2)</sup>	Indien tv ≥ 500MW wordt de eis na 1-1-08: 400 mg/m <sup>3</sup> . Indien de branders op of na 15-10-92 zijn vervangen kan een strengere eis gesteld worden t/m 400 mg/m <sup>3</sup> voor zware stookolie (art. 27.3.a) of 200 mg/m <sup>3</sup> voor andere vloeibare brandstoffen (art. 27.3.b).
		op/na 1-8-88 tot 15-10-92	Alle	300 <sup>(2,3)</sup>	Indien de branders op of na 15-10-92 zijn vervangen kan een strengere eis gesteld worden t/m 200 mg/m <sup>3</sup> voor andere vloeibare brandstoffen dan zware stookolie (art. 27.3.b).
		op/na 15-10-92 tot 1-5-98	Alle	150 <sup>(2)</sup>	
		op/na 1-5-98	Alle	120	

Type installatie	brandstof	datum vergunning	thermisch vermogen	stofsfeis (mg/m <sup>3</sup> )	toelichting en/of eventueel te stellen eis
Stookinstallatie	Vloeibare brandstof met asgehalte > 0,06%	op/na 29-5-87 tot 27-11-02	50 MW ≤ tv < 500 MW	100	
	Alle vloeibare brandstoffen	op/na 27-11-02	≥ 100 MW	30	
	Overige gevallen, vergund op/na 29-5-87 met een tv ≥ 50MW			50	

<sup>1</sup> De emissie-eis geldt alleen voor stookinstallaties die na 1-1-89 nog meer dan 10.000 u, herleid op uren bij een belasting van 100%, in gebruik zullen zijn.

<sup>2</sup> Bij installaties met een thermisch vermogen < 2,5 MW (bovenwaarde), waarvoor vóór 1-5-98 vergunning is verleend, geldt deze eis niet, tenzij op of na 1-5-98 de branders zijn vervangen.

<sup>3</sup> In bepaalde zeldzame gevallen geldt op grond van artikel 48a een afwijkende eis voor installaties met een tv tussen 50 en 75 MW. Zie hierover paragraaf 4.6.

Tv=thermisch vermogen

**Tabel 32:** Emissie-eisen stookinstallaties op gasvormige brandstoffen (De NO<sub>x</sub>-eisen van deze tabellen gelden niet voor gasturbine(-installatie)s en zuigermotoren.) volgens BEES A, bij 3%O<sub>2</sub>

type installatie	brandstof	datum vergunning	SO <sub>2</sub> -eis (mg/m <sup>3</sup> )	Toelichting en/of eventueel te stellen eis
	Overige gassen, gestookt in een stookinstallatie van vóór 29-5-87: geen SO <sub>2</sub> -eisen			
Stookinstallaties	Andere gasvormige brandstof	op/na 29-5-87	35	Bij gebruik van aardgas wordt automatisch aan deze eis voldaan (art. 43.4 jo art. 33.1). Er gelden geen SO <sub>2</sub> -eisen voor gas, verkregen door vergassing van kolen, dat gestookt wordt in een stookinstallatie waarvoor voor 27 november 2002 vergunning is verleend of in een stookinstallatie met een tv < 50 MW.
type installatie	brandstof	datum vergunning	NO <sub>x</sub> -eis (mg/m <sup>3</sup> )	Toelichting en/of eventueel te stellen eis
Stookinstallatie in elektriciteitsbedrijf	Gasvormige brandstoffen	vóór 29-5-87	500 <sup>(1,2,4)</sup>	
Stookinstallatie, niet in elektriciteitsbedrijf	Gasvormige brandstoffen	vóór 29-5-87	150 <sup>(1,2,4,9)</sup>	Bij een procesfornuis met een vuurhaardtemperatuur > 760°C kan een factor toegepast worden (art. 24.1). Bij luchtvoorverwarming (toegepast vóór 15-10-92) kan ook een factor toegepast worden (art. 24.2). Als deze beide gevallen zich in één stookinstallatie voordoen kan alleen de factor voor de vuurhaardtemperatuur worden toegepast (art. 24.6). De eis na correctie met een factor mag niet soepeler zijn dan 350 mg/m <sup>3</sup> (25.3). Bij niet-standaard aardgas (gestookt sinds vóór 15-10-92) kan een factor worden toegepast (art. 24.3). Correctie is toegestaan t/m 350 mg/m <sup>3</sup> (art. 25.3.b). Bij gebruik van in de inrichting gegenereerde gassen moet een factor worden toegepast (art. 24.5). Correctie is toegestaan t/m 500 mg/m <sup>3</sup> (art 25.3.a).
			70 <sup>(1,2)</sup>	Deze eis geldt voor stookinstallaties met tv ≤ 10MW waarin de warmte wordt overgedragen aan water, stoom of thermische olie, als de branders op of na 1 mei 1998 zijn vervangen. Anders geldt 17.1.b.1°.

Stookinstallatie anders dan procesformuis	Gasvormige brandstoffen	op/na 29-5-87 tot 1-8-88	350 <sup>(3,5,6)</sup>	Indien 50 MW ? tv < 500 MW, v.a. 1-1-08: 300 mg/m <sup>3</sup> Indien tv > 500 MW, v.a. 1-1-08: 200 mg/m <sup>3</sup> .
		op/na 1-8-88 tot 15-10-92	200 <sup>(2,3,5,6,7)</sup>	
		op/na 15-10-92 tot 1-5-98	100/200 <sup>(3,6,7)</sup>	voor in de inrichting gegeneerd gas geldt een eis van 200 mg/m <sup>3</sup> . Voor overige gassen geldt 100 mg/m <sup>3</sup> .
		op/na 1-5-98	70	
<b>type installatie</b>	<b>Brandstof</b>	<b>datum vergunning</b>	<b>stofeis (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Toelichting en/of eventueel te stellen eis</b>
Stookinstallaties	Stookinstallaties, vergund vóór 29-5-87 met andere gassen als brandstof: geen stofeisen			
	Andere gasvormige brandstof	op/na 29-5-87	5	bij gebruik van aardgas wordt automatisch aan deze eis voldaan (art. 43.7).

- <sup>1</sup> Deze eis geldt alleen voor stookinstallaties die na 1-1-89 nog ten minste 10.000 uren, herleid op uren bij een belasting van 100%, in gebruik zullen zijn.
- <sup>2</sup> In bepaalde zeldzame gevallen geldt op grond van artikel 48a een afwijkende eis voor installaties met een tv tussen 50 en 75 MW. Zie hierover paragraaf 4.6.
- <sup>3</sup> Bij installaties met een thermisch vermogen < 2,5 MW (bovenwaarde), waarvoor vóór 1-5-98 vergunning is verleend, geldt deze eis niet, tenzij op of na 1-5-98 de branders zijn vervangen.
- <sup>4</sup> Bij installaties met een thermisch vermogen < 2,5 MW (bovenwaarde), waarvoor vóór 1-5-98 vergunning is verleend, geldt deze eis niet.
- <sup>5</sup> Indien bij een installatie met tv > 10 MW de branders na 15-10-92 zijn vervangen kan een strengere eis gesteld worden t/m 150 mg/m<sup>3</sup> (art. 27.3.c).
- <sup>6</sup> Indien bij een installatie met tv ≤ 10 MW de branders na 15-10-92 zijn vervangen kan een strengere eis gesteld worden t/m 70 mg/m<sup>3</sup>, wanneer de overdracht van warmte geschiedt via water, stoom of thermische olie en 150 mg/m<sup>3</sup> in de overige gevallen.
- <sup>7</sup> Als bij de actuele stand der techniek de stookinstallatie niet zodanig kan worden aangepast of verbouwd dat aan de NO<sub>x</sub>-eis wordt voldaan, kan een minder strenge eis gesteld worden t/m 350 mg/m<sup>3</sup> (art. 28.5 en 28.7). Deze eis komt m.i.v. 1-1-08 te vervallen als hij (art. 28.12) minder streng is dan 300 mg/m<sup>3</sup> (50 ≤ tv < 500 MW) of minder streng dan 200 mg/m<sup>3</sup> (tv ≥ 500 MW).
- <sup>8</sup> Bij het gecombineerd gebruik met aardgas wordt voor de berekening van de SO<sub>2</sub>-eis met de mengregel van artikel 9 een waarde van 35 mg/m<sup>3</sup> voor aardgas gehanteerd (art. 17.4).
- <sup>9</sup> Het bevoegd gezag kan een minder strenge eis stellen dan krachtens art. 17.1.b. 1° jo art. 24, doch niet minder streng dan 500 mg/m<sup>3</sup> (art. 28.9).
- <sup>10</sup> Bij toepassing van luchtvoorverwarming bij een installatie als bedoeld in art. 13.2.c.2° (eis 140 mg/m<sup>3</sup>) kan een minder strenge NO<sub>x</sub>-eis gesteld worden indien dat gezien de stand der techniek onvermijdelijk is, maar niet minder streng dan 160 mg/m<sup>3</sup> indien de uitreedtemperatuur lager is dan 600°C en 200 mg/m<sup>3</sup> bij een uitreedtemperatuur ≥ 600°C (art. 28.5, 28.6 en 28.8).
- <sup>11</sup> Bij toepassing van luchtvoorverwarming bij een installatie als bedoeld in 13.3.d.2° kan een minder strenge eis gesteld worden maar niet minder streng dan 130 mg/m<sup>3</sup> indien de uitreedtemperatuur lager is dan 600°C en 150 mg/m<sup>3</sup> bij een uitreedtemperatuur van ≥ 600°C (art. 28.8.b).

**Tabel 33:** Nox-eisen gasturbine(-installatie)s (Voor SO<sub>2</sub> en stof gelden de eisen per stoekinstallatie zoals hiervoor weergegeven voor vloeibare en gasvormige brandstoffen. Het onderstaande geldt voor de emissie van NO<sub>x</sub>, betrokken op de warmte-inhoud van de toegevoerde brandstof) volgens BEES A

type installatie	brandstof	datum vergunning	thermisch vermogen	NO <sub>x</sub> -eis (g/GJ)	toelichting en/of eventueel te stellen eis
Gasturbine	Alle	vóór 29-5-87	Alle	200 <sup>(1,3)</sup>	ISO + R-factor
		29-5-87 t/m 30-4-98	Alle	200	ISO + R-factor Bij vergunningverlening op of na 15-10-92 is een strengere eis te stellen t/m 65 g/GJ maal de R-factor, teruggerekend op ISO-luchtcondities, als dit niet noodzaak tot injectie van water, stoom of ander inert materiaal (art. 27.2.e).
		1-5-98 t/m 26-11-02	Alle	65	ISO Er kan een strengere eis gesteld worden t/m 45 g/GJ (art. 27.2.f).
		op/na 27-11-02	< 50 MW	65	ISO Er kan een strengere eis gesteld worden t/m 45 g/GJ (art. 27.2.f).
	Overige brandstoffen	op/na 27-11-02	≥ 50 MW	65	Er kan een strengere eis gesteld worden t/m 45 g/GJ (art. 27.2.f).
Gasturbine-installatie in elektriciteitsbedrijf	Alle	vóór 29-5-87	Alle	135 <sup>(1,3)</sup>	ISO + R-factor Er kan een strengere eis worden gesteld t/m 100 g/GJ, teruggerekend op ISO-luchtcondities maal de rendementsfactor (art. 27.2.g).
Gasturbine-installatie, niet in elektriciteitsbedrijf	Alle	vóór 29-5-87	Alle	65 <sup>(2)</sup>	ISO + R-factor
Gasturbine-installatie	Alle	29-5-87 t/m 26-11-02	Alle	65	ISO + R-factor
		op/na 27-11-02	< 50 MW	65	ISO + R-factor
	Aardgas	op/na 27-11-02	≥ 50 MW	45	
	Overige brandstoffen	op/na 27-11-02	≥ 50 MW	65	

- ISO: De eis wordt teruggerekend op ISO-luchtcondities
- R-factor: De eis wordt vermenigvuldigd met 1/30 gasturbinerendement, de rendementsfactor dient minimaal 1 te zijn. Indien andere gasvormige brandstoffen dan aardgas van standaardkwaliteit worden gestookt, wordt de rendementsfactor op zijn beurt weer vermenigvuldigd met een factor die gelijk is aan de verhouding van de onderste verbrandingswaarde van de ingezette brandstof, uitgedrukt in MJ/kg, tot een verbrandingswaarde van 38 MJ/kg. Deze laatste factor moet minimaal 0,9 en maximaal 1,1 bedragen (art. 20.1, 2 en 3, art. 20a.2, 3 en 4).

<sup>1</sup> Deze eis geldt alleen als de gasturbine na 31-12-89 nog 25.000 uren in bedrijf zal zijn (art. 20a.2).

<sup>2</sup> Deze eis geldt alleen als de installatie na 31-12-93 nog 25.000 uren in bedrijf zal zijn (art. 20a.5).

<sup>3</sup> In bepaalde zeldzame gevallen geldt op grond van artikel 48a een afwijkende eis voor installaties met een tv tussen 50 en 75 MW. Zie hierover paragraaf 4.6.



**Tabel 34:** NOx-eisen zuigermotoren (voor SO<sub>2</sub> en stof gelden de eisen per stookinstallatie zoals hiervoor weergegeven voor vloeibare en gasvormige brandstoffen) volgens BEES A

brandstof	datum vergunning	as-vermogen	NO <sub>x</sub> -eis (g/GJ)	toelichting en/of eventueel te stellen eis
≥ 50% gas	Vóór 29-5-87	> 50 kW	500	Het bevoegd gezag kan, de inspecteur gehoord, voor andere gassen dan aardgas of voor toepassing conform artikel 2.a, aanhef en 2°, een minder strenge eis stellen voor zover de actuele stand der techniek niet zodanig kan worden aangepast of verbouwd dat aan de eis wordt voldaan (art. 28.3)
Overige zuigermotoren vergund vóór 29-5-87: geen NO <sub>x</sub> -eisen.				
≥ 50% gas	29-5-87 – 31-12-89	> 50 kW	800 <sup>(1)</sup>	Strengere eis is te stellen t/m 270 g/GJ <sup>(1)</sup> (art. 27.2.h)
	1-1-90 – 31-12-93	> 50 kW	270 <sup>(1)</sup>	Strengere eis is te stellen t/m 100 g/GJ <sup>(1)</sup> (art. 27.2.i)
	op/na 1-1-94	> 50 kW	140 <sup>(1)</sup>	Strengere eis is te stellen t/m 100 g/GJ <sup>(1)</sup> (art. 27.2.i)
	op/na 29-5-87	? 50 kW	800 <sup>(1)</sup>	Strengere eis is te stellen t/m 270 g/GJ <sup>(1)</sup> (art. 27.2.h)
< 50% gas	29-5-87 – 31-12-89	> 50 kW	1200 <sup>(1)</sup>	Strengere eis is te stellen t/m 400 g/GJ <sup>(1)</sup> (art. 27.2.j)
	op/na 29-5-87	? 50 kW	1200 <sup>(1)</sup>	Strengere eis is te stellen t/m 400 g/GJ <sup>(1)</sup> (art. 27.2.j)
	op/na 1-1-90	> 50 kW	400 <sup>(1)</sup>	Strengere eis is te stellen t/m 150 g/GJ <sup>(1)</sup> (art. 27.2.j)

<sup>1</sup> maal 1/30 motorrendement

In BEMS, dat sinds december 2008 van kracht is, worden emissienormen voor nieuwe installaties gegeven. Voor bestaande blijven de emissie-eisen van het vorige BEES B geldig tot 1 januari 2017. Onderstaande tabellen geven een overzicht.

**Tabel 35:** Overzicht huidige en voorgestelde nieuwe normen van het BEMS voor stookinstallaties

	Vaste brandstoffen; 6% O <sub>2</sub>	Vloeibare brandstoffen; 3% O <sub>2</sub>	Gasvormige brandstoffen; 3% O <sub>2</sub>
SO <sub>2</sub> in mg/Nm <sup>3</sup>			
bestaande installaties	700		/
nieuwe installaties	200	200	200
NOx in g/GJ			
bestaande installaties	100-500 mg/Nm <sup>3</sup>	120-300 mg/Nm <sup>3</sup>	70-500 mg/Nm <sup>3</sup>
nieuwe installaties	35	35	20
Stof			
bestaande installaties	20-50	20	/
nieuwe installaties	5	5	/

In onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van de emissiegrenswaarden in BEMS voor gasturbines en zuigermotoren.

**Tabel 36:** Overzicht huidige en nieuwe normen van het BEMS voor gasturbines en zuigermotoren

	Gasturbine	Zuigermotor	
	gas/vloeibaar 15% O <sub>2</sub>	vloeibaar 3% O <sub>2</sub>	gasvormig 3% O <sub>2</sub>
SO <sub>2</sub> mg/Nm <sup>3</sup>			
bestaande installaties	700	/	/
nieuwe installaties	200	200	200
Nox g/GJ			
bestaande installaties	65-200*rc	400*rc	140-800*rc
nieuwe installaties	40	130	30
Stof mg/Nm <sup>3</sup>			
bestaande installaties	50	/	/
nieuwe installaties	vloeibaar: 15	50	/

rc = rendementscorrectie = 1/30 van het motorrendement

Dierlijke vetten en oliën kunnen door middel van een veresteringsproces zijn omgezet in *bio-diesel*. Omdat de afvalstoffen op deze manier werden omgezet in een brandstof moeten de installaties die hierop stoken voldoen aan de emissie-eisen uit het BEES.

#### Nederlandse emissieRichtlijn (NeR)

Als het BEES ook niet van toepassing is, blijft de NeR over als wetgevend kader. Het doel van de NeR is het harmoniseren van de vergunningen met betrekking tot de emissies naar lucht. De NeR ken algemene eisen en enkele bijzondere regelingen voor specifieke deelsectoren of situaties. Als er een bijzondere regeling van toepassing is, wordt deze gebruikt, indien niet, dan gelden de algemene eisen van het NeR.

Er is een bijzondere regeling in de NeR (F7) voor afvalhout dat op de witte lijst staat dat wordt verbrand in installaties met een capaciteit < 5 MWth.

**Tabel 37:** Overzicht emissiegrenswaarden volgen NeR F7

In mg/m <sup>3</sup> , 11% O <sub>2</sub>	NeR
Stof	
≥ 0,5 MW	100
0,5-1,5 MW	50
1,5-5 MW	25
NOx	400

#### 2.3.9.2. Duitsland (persoonlijke communicatie, websites)

Het wetgevend kader voor emissies naar lucht wordt in Duitsland hoofdzakelijk gevormd door de BImSchG (Bundes Immissionschutz Gesetz), Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) en de BImSchV (Bundes Immissionschutz Verordnungen).

### a. *BImSchG*

De Bundes Immissionschutz Gesetz legt de basis voor het beschermen van het milieu in Duitsland. Er worden algemene richtlijnen gegeven die betrekking hebben op vier deelgebieden. Een eerste deel van richtlijnen hebben betrekking op de *bouw en uitbating van de installatie*. In dit deel worden eisen opgelegd zowel voor vergunningsplichtige als niet vergunningsplichtige bedrijven met betrekking tot de bouw en uitbating van de installatie. Een tweede deel van richtlijnen hebben betrekking op *productgerelateerde kenmerken*. Deze richtlijnen stellen dat er specifieke eisen mogen gesteld worden aan installaties, stoffen, producten, brandstoffen en smeermiddelen zodat ze voldoen aan de vooropgestelde eisen zodat ze geen negatief effect hebben op het milieu. Het derde deel van kenmerken gaan over *verkeersgerelateerde kenmerken*. Hierin worden eisen gesteld aan de aard en het gebruik van vervoersmiddelen en wegwerkzaamheden zodat ze geen schadelijk effect hebben om het milieu. Het vierde deel van de kenmerken ten slotte zijn *gebiedsgerelateerde kenmerken*. Deze hebben betrekking op het controleren en het verbeteren van de luchtkwaliteit, het opstellen van “clean air” plannen. Deze laatste moeten worden opgemaakt indien er een overschrijding is van immissie grenswaarden. Ten slotte hebben deze gebiedsgerelateerde kenmerken nog betrekking op het opmaken van “geluidskaarten” en “geluidsactieplannen” door de bevoegde autoriteiten.

Zoals blijkt uit het voorgaande blijft deze BImSchG zeer algemeen. Voor de praktische uitvoering zijn verschillende uitvoeringsvoorschriften opgemaakt, de zogeheten BImSchV. Wanneer er in de uitvoeringsvoorschriften geen emissie- of immissiegrenswaarden zijn vastgesteld gelden de grenswaarden uit de landelijk geldende voorschriften TA luft en TA Lärm. Voor de immissie van licht bestaan er nog geen landelijk geldende voorschriften, hiervoor is de “licht-Richtlinie” van de landelijke commissie voor Immissionsschutz (LAI).

In het kader van deze studie zijn een aantal BImSchV en de TA Luft van belang. In wat volgt zullen dan ook enkel deze besproken worden.

### b. *BImSchV*

In de verschillende Bundes immissionsschutz Verordnungen worden specifieke eisen opgelegd aan verschillende typen van installaties. Momenteel zijn er meer dan 30 van dergelijke uitvoeringsvoorschriften opgemaakt. In het kader van deze studie zijn ondermeer de volgende uitvoeringsvoorschriften van belang:

- 1. BImSchV – Kleinf Feuerungsanlagenverordnung (Kleine en middelgrote stookinstallaties)
- 4. BImSchV – Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen (Verordening over de vergunningsplichtige bedrijven)
- 9. BImSchV – Verordnung über das Genehmigungsverfahren (verordening over de milieuvergunning)
- 13. BImSchV – Verordnung über Großfeuerungs- und Gasturbinenanlagen (Verordening over grote stookinstallaties en gasturbineinstallaties)
- 17. BImSchV – Verordnung über Verbrennungsanlagen für Abfälle und ähnliche brennbare Stoffe – Thermische Verwertung (Verordening voor afval en gelijkaardige brandbare stoffen – thermische verwerking)
- 22. BImSchV – Verordnung über Immissionswerte für Schadstoffe in der Luft (Verordening voor immissiegrenswaarden voor schadelijke stoffen in de lucht)

### c. TA Luft

De TA Luft is een administratieve richtlijn. De voorschriften hebben geen strikt wettelijk karakter en laten enige ruimte binnen de ambtelijke toepassing. Er wordt in Duitsland echter niet lichtvaardig van de T.A. Luft afgeweken. Er wordt gestreefd naar maximale toepassing van de “Stand der Techniek”, vernieuwing via aanpassingsclausules (“Dynamiserungsklausel”) en vermijden van emissies van gevaarlijke stoffen (“Minimierungsgebot”). Typisch voor de laatste versie van TA Luft zijn ook de strikte aanpassingstermijnen voor bestaande bedrijven.

Typisch voor de TA Luft is de in hoofdzaak stof- en brongerichte aanpak, waarbij voor verschillende componenten emissiegrenswaarden zijn opgenomen en voor de industriële sectoren specifieke voorschriften worden gegeven.

Vergunningsplichtige bedrijven, dit zijn installaties die in 4. BImSchV zijn opgenomen, worden voor wat hun emissiegrenswaarden betreft geregeld door de TA Luft.

### d. Overzicht

In onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van de wetgeving die van kracht is wanneer een bepaalde vaste hernieuwbare brandstof wordt gestookt in een installatie.

In de daarna volgende tabellen wordt vervolgens weergegeven welke emissiegrenswaarden van kracht zijn volgens de genoemde regelgeving. Naast de regelgeving voor vaste brandstoffen worden ook de emissiegrenswaarden weergegeven voor met vloeibare en gasvormige hernieuwbare brandstoffen gestookte installaties weergegeven.

**Tabel 38:** Overzicht van kracht zijnde wetgeving per type installatie en brandstof

Brandstof	Installatiegrootte	Regelgeving
natuurlijk hout	< 1 MW ≥ 1 MW bis < 50 MW ≥ 50 MW	1. BImSchV Nr. 5.4.1.2.1 TA Luft 13. BImSchV
Stro en andere plantaardige stoffen	< 100 kW ≥ 100 kW bis < 50 MW ≥ 50 MW	1. BImSchV Nr. 5.4.1.3 TA Luft + ggf. allg. Teil (HCl, PCDD/F) 13. BImSchV + TA Luft
Houtafval met HSM/PVC – houtafval met PVC – houtafval van categorie A III, A IV		Nr. 5.4.8.2 TA Luft + algemeen indien relevant voor (HCl, PCDD/F) 17. BImSchV
Houtafval zonder HSM/PVC – geschilderd of gelakt hout, – splanen, spaanplaat, ed zonder houtbeschermingsmiddel of gehalogeneerde afwerking	< 50 MW > 50 MW	Nr. 5.4.8.2 TA Luft 13. BImSchV

**Tabel 39: Emissiegrenswaarden volgens 1. BImSchV Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen**

1. BImSchV								
	< 15 kW*	> 15 kW**				> 50 kW ***		
mg/m <sup>3</sup> ; 13% O <sub>2</sub> overschot		15-50	50-150	150-500	> 500	50-100	100-500	> 500
CO		4000	2000	1000	500	800	500	300
Stof		150						

\* onbehandeld hout

\*\* onbehandeld hout – stro&plantaardig materiaal

\*\*\* behandeld hout

**Tabel 40: Emissiegrenswaarden volgens 13. BImSchV (Verordnung über grossfeuerungs- und Gasturbineanlagen)**

13. BImSchV		
6% O <sub>2</sub> overschot	natuurlijk hout	andere biomassa
Stof	20	
CO		
50-100 MW	150	250
≥ 100 MW	250	
NOx		
50-100 MW	250	350
100-300 MW		300
> 300 MW		200
Sox		200
TOC		10
PCDD/F (ngTEQ)		0,1
Hg		0,03
som Cd, Tl		0,05
som Sb, As; Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn		0,5
som As, Cd, Co, Benzo-a-pyreen, Cr		0,05

**Tabel 41: Emissiegrenswaarden volgens 17. BImSchV (Verordnung über Verbrennungsanlagen für Abfälle und ähnliche brennbare Stoffe – Thermische Verwertung)**

17. BImSchV	
11% O <sub>2</sub> overschot	
stof	10
CO	50
HCl	10
HF	1
NOx	200
Sox	50
TOC	10

17. BImSchV	
Hg	0,03
cd + Tl	0,05
som Sb, As; Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn	0,5
som As, Cd, Co, Benzo-a-pyreen, Cr	0,05
PCDD/F (ngTEQ)	0,1

**Tabel 42: Emissiegrenswaarden volgens TA Luft voor stookinstallaties**

Stookinstallaties (furnaces) < 50 MW						
<i>facilities for the generating electricity, steam, warm water, processing heat or heated waste gas using 5.4.1.2.1 coal, coke, coal briquettes, peat briquettes, fuel peat or untreated wood; 5.4.1.3 other fuels than under 5.4.1.2; 5.4.8.2 painted lacquered or coated wood, plywood, chipboards, fibreboard or other glued wood</i>						
mg/m <sup>3</sup> ; 11% O <sub>2</sub> overschot	natuurlijk hout		stro – plantaardig		houtafval	
Stof	< 2,5 MW	100	< 1 MW	50	< 2,5 MW	50
	< 5 MW	50	≥ 1 MW	20	≥ 2,5 MW	20
	> 5 MW	20				
CO		150		250		150
Nox		250	< 1 MW	500	Nieuwe	400
			≥ 1 MW	400	Bestaande	500
mg/m <sup>3</sup> , 7% O <sub>2</sub> overschot	Fossiele brandstoffen					
stof	< 5 MW	50				
	> 5 MW	20				
CO		150				
Nox	WBO	300				
	Overig > 10 MW	400				
	Overig < 10 MW	500				
SOx	WBO	350				
	'hard coal' (antraciet)	1300				
	Overige vaste	1000				
<i>facilities for the generating electricity, steam, warm water, processing heat or heated waste gas using 5.4.1.2.2 heating oils, emulsified natural bitumen, methanol, ethanol, untreated vegetable oils or vegetable oil methyl esters; 5.4.1.2.3 gaseous fuels</i>						
mg/m <sup>3</sup> ; 3% O <sub>2</sub> overschot	Biogas	aardgas	Plant. Olie			
Stof	5	5/10*	/			
CO	80	50/80*	80			
NOx	200	200	350			
SOx	350	10/35*	850**			

**Tabel 43: Emissiegrenswaarden volgens TA Luft voor interne verbrandingsmotoren**

Interne verbrandingsmotoren (internal combustion engines) < 50 MW					
5.4.1.4 internal combustion engines including internal combustion engines under 1.1 and 1.2 of 4. BimSchV; 5.4.8.1b internal combustion engines using waste oil or landfillgas					
mg/m <sup>3</sup> , 5% O <sub>2</sub> overschot		Biogas, RWZI gas	Gasvormige brandstoffen uitgez. Biogas, mijngas, RWZI-gas	Vloeibare brandstoffen	Stortgas en afvalolie
CO					
Compression ignition	> 3 MW	650	300	300	650
	< 3MW	2000			
Spark ignition	> 3 MW	650			
	< 3MW	1000			
NO <sub>x</sub> <sup>1</sup>					
Compression ignition	> 3 MW	500	500	500	500
	< 3MW	1000		1000	
Spark ignition		500		250	

<sup>1</sup> voor tweetaakt motoren: 800 mg/m<sup>3</sup>

**Tabel 44: Emissiegrenswaarden volgens TA Luft voor gasturbines**

Gasturbines < 50 MW (5.4.1.5 gasturbines)		
mg/m <sup>3</sup> , 15% O <sub>2</sub> overschot	Biogas	aardgas
CO	100	100
NO <sub>x</sub>	150	75000

### 2.3.9.3. Denemarken

Aanbevelingen voor emissiegrenswaarden worden gegeven in de nationale richtlijn. Feitelijke emissiegrenswaarden zijn opgenomen in de vergunning van de installatie uitgegeven door de lokale overheid, gebaseerd op de nationale richtlijn.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van een aantal emissiegrenswaarden voor het verbranden van vaste hernieuwbare brandstoffen in de Deense nationale richtlijn.

**Tabel 45: Overzicht van relevante emissiegrenswaarden in Denemarken voor de verbranding van vaste hernieuwbare brandstoffen (S. Van Loo en J. Koppejan, 2007)**

Nominaal thermisch vermogen [MW <sub>th</sub> ]	CO [ppm]	Stof [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
<b>Houtachtige brandstoffen, zoals houtpellets, zagemeel, hout chips, graan (ref. 10% O<sub>2</sub>)</b>			
0.12-1.0		300	
> 1.0	Meestal 500	40 of 100*	
> 5.0	Meestal 500	40 of 100*	300
<b>Stro (ref. 10% O<sub>2</sub>)</b>			
< 1.0			
> 1.0	500	40	
> 5.0	500	40	300

\* afhankelijk van de gebruikte rookgasreiniging

In volgende tabel wordt een overzicht gegeven van de emissiegrenswaarden die van kracht zijn voor motoren in Denemarken.

**Tabel 46:** Tabel 46: overzicht emissiegrenswaarden voor motoren in Denemarken (EGTEI, 2008)

Nominaal thermisch vermogen	Brandstof	NOx [mg/Nm <sup>3</sup> , 15% O <sub>2</sub> ]
> 120 kW	Aardgas, LPG	209
> 120 kWth	Vergassingsgas	209
> 120 kWth	Biogas	380
> 120 kWth	Gasolie, dieselolie, plantaardige olie	209
> 1 MW th	Zware fuel	76

#### 2.3.9.4. Finland

Algemene emissiegrenswaarden voor inheemse brandstoffen (hout, houtafval, turf, stro) zijn weergegeven in onderstaande tabel. Lokale overheden kunnen strengere grenswaarden opleggen.

**Tabel 47:** Overzicht van relevante emissiegrenswaarden in Finland voor de verbranding van vaste hernieuwbare brandstoffen (S. Van Loo en J. Koppejan, 2007)

Nominaal thermisch vermogen [MW]	NOx [mg/MJ]	SO <sub>2</sub> [mg/MJ]	Stof [mg/MJ]
1-5			200
5-50			85-4/3 (P-5)*
	NOx [mg/m <sup>3</sup> at 6% O <sub>2</sub> ]	SO <sub>2</sub> [mg/m <sup>3</sup> at 6% O <sub>2</sub> ]	Stof [mg/m <sup>3</sup> at 6% O <sub>2</sub> ]
50-100	400	Biomassa: 200 Turf: 400	50
100-300	300	Biomassa: 200 Turf: 200	30
>300	150	Biomassa: 200 Turf: 200	30

\* P is de capaciteit in MW. Voor roosterverbranding is de grens 200 mg/MJ voor 1-10MW

Officiële grenswaarden voor kleinschalige houtverbrandingsinstallaties (tot 300 kW) worden naar verwachting in 2008 geïmplementeerd.

#### 2.3.9.5. Oostenrijk

In Oostenrijk zijn worden de emissiegrenswaarden voor stoomketels en 'restwarmte' ketels geregeld door de emission protection act (EPA, Federal Legal Gazette 2004/150) en de Clean Air Ordinance for Steam Boilers (CAO, Federal Legal Gazette 1989/19 aangevuld met Federal Legal Gazette II 1997/324) voor kleine verbrandingsinstallaties. Bijkomend worden in de Ordinance for Firing Installations (OFI, Federal Legal Gazette II 1997/331) emissiegrenswaarden en



werkingsvoorwaarden opgelegd. Deze laatste regelt de emissies van verbrandingsinstallaties met een thermische input van 50 kW of meer.

De genoemde wetgevingen schrijven verschillende emissiegrenswaarden voor, afhankelijk van de gebruikte brandstof en de thermische input van de installatie. Bovendien worden meetmethoden en de wijze van rapporteren van de gemeten emissies geregeld. In onderstaande tabel worden de emissiegrenswaarden voor de parameter *stof* samengevat.

**Tabel 48:** *Overzicht geldende emissiegrenswaarden voor stof bij 11%O<sub>2</sub> in Oostenrijk (S. Van Loo en J. Koppejan, 2007, persoonlijke communicatie)*

capaciteit		< 2MW	2-5 MW	> 5 MW
EPA	hout, chips, schors, turf	150	120	50
CAO	hout, schors, zaagstof, chips	150	50	
OFI	onbehandeld hout, chips of schors	150	50	

### 2.3.9.6. Zwitserland

In Zwitserland worden algemeen geldende emissiegrenswaarden opgelegd in de Luftreinhalte Verordnung.

Volgende algemeen geldende emissiegrenswaarden voor installaties waar biogeen afval wordt verbrand mogen niet overschreden worden.

**Tabel 49:** *Overzicht emissiegrenswaarden voor de verbranding van biogeen afval in Zwitserland (S. Van Loo en J. Koppejan, 2007)*

		capaciteit		
		≥ 1 MW	1-10 MW	> 10 MW
zuurstofgehalte	%vol	13	11	11
stof	mg/m <sup>3</sup>	20	20	10
CO	mg/m <sup>3</sup>	500	250	150
NO <sub>x</sub> (als NO <sub>2</sub> )*	mg/m <sup>3</sup>	250	250	150

\* bij een massastroom van ≥ 2500 g/h

In de regelgeving wordt gesteld dat vast biogeen afval niet verbrand mag worden in installaties met een capaciteit < 70 kW.

Naast algemeen geldende emissiegrenswaarden worden ook aanvullende en afwijkende emissiegrenswaarden opgegeven in deze regelgeving. Voor verbrandingsinstallaties waar hout wordt verbrand gelden volgende emissiegrenswaarden.

**Tabel 50:** Overzicht geldende emissiegrenswaarden voor de verbrandingsinstallaties voor hout  
(S. Van Loo en J. Koppejan, 2007)

		< 0,07 MW	0,07-0,5 MW	0,5-1 MW	1-10 MW	> 10 MW
zuurstofgehalte	%vol	13	13	13	11	11
stof						
vanaf 1 januari 2008	mg/m <sup>3</sup>	-	150	20	20	10
vanaf 1 januari 2012	mg/m <sup>3</sup>	-	50	20	20	10
CO						
<i>natuurlijk hout</i>						
vanaf 1 september 2007	mg/m <sup>3</sup>	4000	1000	500	250	150
vanaf 1 januari 2012	mg/m <sup>3</sup>	4000	500	500	250	150
<i>houtafval</i>						
vanaf 1 september 2007	mg/m <sup>3</sup>	1000	1000	500	250	150
vanaf 1 januari 2012	mg/m <sup>3</sup>	1000	500	500	250	150
NO <sub>x</sub> als NO <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup>	250*	250*	250*	250*	150
TOC	mg/m <sup>3</sup>	-	-	-	-	50
ammoniak en ammonium- verbindingen als NH <sub>3</sub>	mg/m <sup>3</sup>	-	-	-	30	30

\*wanneer de massastroom 2500 g/h bedraagt of meer.

### 2.3.9.7. Zweden (persoonlijke communicatie)

In Zweden zijn er buiten de LCP-richtlijn voor installaties > 50 MW geen algemene bindende emissiegrenswaarden voor de verbranding van hernieuwbare brandstoffen. De emissiegrenswaarden worden geval per geval bepaald en worden gebaseerd op de Beste Beschikbare Technieken.

Over het algemeen vormt de emissie van SO<sub>2</sub> geen probleem bij de verbranding van hernieuwbare brandstoffen. Er worden meestal geen emissiegrenswaarden opgelegd voor deze parameter.

Voor stof is er een emissiegrenswaarde voor installaties van 0,5 tot 10 MW van 100 mg/m<sup>3</sup> (6% O<sub>2</sub>). Voor nieuwe installaties met een capaciteit groter dan 3-4 MW worden vaak strengere grenswaarden opgelegd, in de grootteorde van 20-50 mg/m<sup>3</sup>. Installaties met een capaciteit > 10 MW krijgen emissiegrenswaarden opgelegd tussen de range van 10-50 mg/m<sup>3</sup>, alle bij 6%O<sub>2</sub>.

Nieuwe installaties krijgen een emissiegrenswaarden opgelegd voor CO van 250 mg/m<sup>3</sup> als dagelijks gemiddelde en 500 mg/m<sup>3</sup> als uur gemiddelde.

Voor NO<sub>x</sub> kunnen de emissiegrenswaarden zich voor de kleinere installaties (< 10-20 MW) in de grootteorde van 300 mg/m<sup>3</sup> bevinden.

**Hoofdstuk 3****PROCESBESCHRIJVING EN MILIEU-ASPECTEN**

*In dit hoofdstuk beschrijven we de huidige stand van zaken betreffende het verbranden van hernieuwbare brandstoffen alsook de bijhorende milieu-impact.*

*Deze beschrijving heeft tot doel om een globaal beeld te scheppen van de toegepaste processtappen en hun milieu-impact. Dit vormt de achtergrond om in hoofdstuk 4 de milieuvriendelijke technieken te beschrijven die bij het verbranden van hernieuwbare brandstoffen kunnen toegepast worden om de milieu-impact te verminderen.*

*De details van de procesvoering kunnen in de praktijk variëren van installatie tot installatie. Niet alle mogelijke varianten in procesvoering worden in dit hoofdstuk beschreven. Ook kan de procesvoering in de praktijk complexer zijn dan hier beschreven.*

*Het is in geen geval de bedoeling van dit hoofdstuk om een uitspraak te doen over het al dan niet BBT zijn van bepaalde processtappen. Het feit dat een proces in dit hoofdstuk wel of niet vermeld wordt, betekent dus geenszins dat dit proces wel of niet BBT is.*

*Dit hoofdstuk is met name gebaseerd op het handboek 'Biomass combustion and co-firing (S. Van Loo en J. Koppejan; 2007)' en 'Energie uit hernieuwbare brandstof (BTG; 2005)' (zie bibliografie).*

**3.1. Inleiding**

Het verbranden van hernieuwbare brandstoffen is een belangrijke technologieroute voor bio-energie. Meer dan 90% van de bio-energie wordt geleverd door verbranding van hernieuwbare brandstof. De keuze en het ontwerp van het verbrandingssysteem wordt voornamelijk bepaald door de karakteristieken van de brandstof, de milieuwetgeving, de kosten en performantie van de installatie alsook de energie- en capaciteitsvraag (warmte, elektriciteit). Verder kunnen de brandstofkarakteristieken aangepast worden om te voldoen aan technische en ecologische vereisten van een gegeven verbrandingstechniek.

Verbrandingstechnieken voor hernieuwbare brandstoffen vertonen, en dan met name de groot-schalige toepassingen, veel gelijkenissen met verbrandingsinstallaties voor afval en fossiele brandstoffen. Hoewel bij gebruik van chemisch onbehandelde hernieuwbare brandstoffen, o.a. geteelde biomassa of resten uit de bosbouw, de benodigde rookgasreiniging minder complex en dus goedkoper zal zijn dan bij afvalverbranding.

**3.2. Vaste hernieuwbare brandstoffen****3.2.1. Algemeen**

In onderstaande paragrafen worden een aantal belangrijke factoren toegelicht die een invloed hebben op het verbrandingsproces. Het verbrandingsproces is een geheel van complexe fysische

en chemische aspecten. Het verloop en de eigenschappen van het verbrandingsproces hangen af van de brandstofeigenschappen en de verbrandingstoepassing.

De kennis van deze parameters is van uiterste belang om een goede regeling van de temperatuur en een goed ontwerp naar grootte en geometrie van de installatie te bepalen. Dit om een voldoende lange verblijftijd te garanderen en volledige verbranding te bekomen en zo de emissies onder controle te houden.

De karakteristieken en kwaliteit van hernieuwbare brandstoffen verschillen sterk en zijn vooral afhankelijk van de soort brandstof en de voorbehandeling die toegepast is. De brandstofkwaliteit kan verbeterd worden door een geschikte voorbehandeling, maar dit doet natuurlijk de kostprijs van de brandstof stijgen. Aan de andere kant is er een variatie aan verbrandingstechnieken beschikbaar voor verschillende brandstofkwaliteiten.

#### **3.2.1.1. Vochtgehalte**

Het vochtgehalte in hernieuwbare brandstoffen varieert aanzienlijk, afhankelijk van het type en de opslag van de hernieuwbare brandstof. Het *vochtgehalte* beïnvloedt het verbrandingsgedrag, de adiabatische temperatuur van de verbranding en het volume rookgassen geproduceerd per eenheid van energie. Natte hernieuwbare brandstof heeft een langere verblijftijd en kan zo aanleiding geven tot verhoogde emissies ten gevolge van onvolledige verbranding. Bovendien zijn er grotere verbrandingskamers nodig en kan de energie-efficiëntie afnemen bij toenemend vochtgehalte in de brandstof. Dit laatste kan gedeeltelijk gecompenseerd worden door het installeren van een warmterecuperatie (v.b. rookgascondensator, zie § 4.1.10). In sommige gevallen zal het noodzakelijk zijn om de hernieuwbare brandstof te drogen.

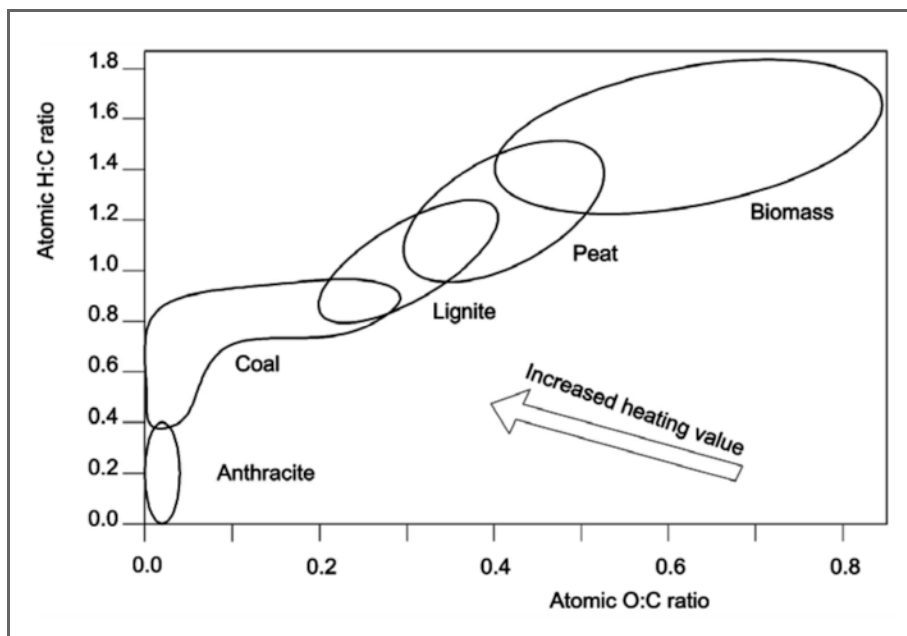
#### **3.2.1.2. Calorische waarde**

De calorische waarde of energetische waarde is een maat voor de energie-inhoud van de brandstof. De calorische waarde geeft aan hoeveel water een bepaalde brandstof bij volledige verbranding in staat is te verwarmen van 14,5° C naar 15,5° C. Dit wordt gemeten bij atmosferedruk (de standaard luchtdruk die overal heerst). De verwarming van 1 gram water met 1 graad is 1 calorie (= 4,186 joule). Dit is een verouderde eenheid die niet in het SI-stelsel wordt gebruikt.

De warmte die vrijkomt bij verbranding wordt ook wel bovenste verbrandingswaarde genoemd. Er is ook een onderste verbrandingswaarde. Dit is de warmte die vrijkomt bij verbranding zonder de condensatiewarmte van de verbrandingsgassen mee te rekenen.

Dus: bovenste verbrandingswaarde = onderste verbrandingswaarde + condensatiewarmte. De bovenste verbrandingswaarde van hernieuwbare brandstoffen varieert meestal tussen 18 en 22 MJ/kg (voor droge brandstof). Het gehalte aan C, H en S heeft een positieve invloed op de verbrandingswaarde, terwijl de gehalten aan N, O en as een negatieve invloed hebben.

De chemische samenstelling van vaste hernieuwbare brandstoffen wordt in onderstaande figuur (Figuur 4) vergeleken met deze van andere brandstoffen. In vergelijking met andere brandstoffen bevat een vaste hernieuwbare brandstof relatief meer waterstof en zuurstof.



**Figuur 4:** Chemische samenstelling van verschillende vaste brandstoffen  
(S. Van Loo en J. Koppejan; 2007)

### 3.2.1.3. Vorm, afmetingen bulkdichtheid en energiedichtheid

Belangrijke fysische parameters zijn de vorm, de afmetingen en bulkdichtheid, de energiedichtheid, de verbrandingswaarde en het vochtgehalte.

Afhankelijk van hoe de hernieuwbare brandstof wordt geproduceerd of welke voorbereidende bewerkingen deze heeft ondergaan, zal de hernieuwbare brandstof onder andere vorm (vast, vloeibaar, gasvormig) en *afmetingen* beschikbaar zijn. Dit bepaalt mede de manier van brandstoftoevoer en verbranden.

De *energiedichtheid* resulteert uit de bulkdichtheid en de verbrandingswaarde en beïnvloedt zowel de manier van transport en opslag als de procescontrole van het brandstoftoevoersysteem.

### 3.2.1.4. Chemische samenstelling (Nussbaumer, september 2006)

Organisch gebonden *zuurstof* wordt vrijgesteld door de thermische ontbinding van de hernieuwbare brandstoffen en dekt een gedeelte van de totale zuurstof die nodig is om de verbrandingsreactie te laten doorgaan; de rest wordt toegevoegd door luchtinjectie.

*Koolstof* in hernieuwbare brandstoffen is gedeeltelijk aanwezig onder geoxideerde vorm, wat de lage bovenste verbrandingswaarde van hernieuwbare brandstoffen verklaart (in vergelijking

met kolen). hoe hoger de niet-geoxideerde C-concentraties hoe hoger de bovenste verbrandingswaarde.

De hoeveelheid *vluchtige componenten* in hernieuwbare brandstoffen is hoger dan in kolen, en varieert voor vaste hernieuwbare brandstof tussen 70 en 86 gew.% (droge basis).

Onderzoek heeft aangetoond dat NO<sub>x</sub> vorming tijdens de verbranding van hernieuwbare brandstoffen bij temperaturen tussen 800° en 1100°C hoofdzakelijk het gevolg is van brandstofgebonden *stikstof*. Verder spelen de zuurstoftoevoer, de geometrie van de installatie en het type een belangrijke rol in de vorming van (thermische) NO<sub>x</sub>. Zo is het van belang dat primaire en secundaire verbrandingslucht wordt geïnjecteerd in goed gescheiden verbrandingskamers of -zones. Verder dient de luchtinjectie frequentiegestuurd te zijn om zo een ideale primaire luchttoevoer te verzekeren. Tevens dient de luchtvermaat, bepaald door de secundaire verbrandingslucht, zo laag mogelijk te zijn maar toch volledige verbranding te verzekeren. Rookgasrecirculatie kan het mengen bevorderen alsook bijdragen aan een betere temperatuur in de primaire verbrandingszone. Beide punten dragen bij aan de efficiëntie van de installatie.

(Zie hoofdstuk 4 voor primaire maatregelen om vorming van NO<sub>x</sub> emissies te beperken).

*Chloor* verdampt bijna volledig tijdens de verbranding met vorming van HCl, Cl<sub>2</sub> en alkalichloriden. Met afnemende rookgastemperatuur zullen de alkalichloriden condenseren op de vliegassen of op de warmtewisselaars, de rest zal geëmitteerd worden als HCl. Metingen en berekeningen hebben aangetoond dat 40-95% van de Cl van de toegevoerde brandstof bindt op de vliegassen, afhankelijk van de concentratie aan alkalimetalen in de hernieuwbare brandstof en de gebruikte ontstoffingstechniek en zijn rendement. De emissie van HCl heeft enerzijds invloed op de vorming van dioxines en furanen (PCDD/F) en anderzijds corrosieve eigenschappen (zie § 3.2.1.5. Concentraties en relevantie van asgehalte). De vorming van PCDD/F gebeurt op het oppervlak van de vliegassen in aanwezigheid van C, Cl en O en bij temperaturen tussen 250-500°C. Dit betekent dat een lage hoeveelheid vliegassen, een volledige verbranding, lage luchtvermaat en concentraties aan Cl de vorming van PCDD/F zullen beperken.

*Zwavel* vormt de gasvormige componenten SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub> en alkalisulfaten tijdens verbranding. Het grootste gedeelte van de aanwezige S zal dus in gasfase terecht komen. In de ketel waar de rookgassen snel afkoelen, condenseren de sulfaten op de vliegassen of op de pijpen. De sulfaten kunnen ook binden aan de vliegassen door sulfatatie reacties. Testen hebben aangetoond dat de totale S-inhoud van de hernieuwbare brandstof voor 40-75% op het vlieggas bindt en de rest als SO<sub>2</sub> wordt geëmitteerd. Het belang van S is niet zozeer de SO<sub>2</sub>-emissies, maar eerder het gevormde SO<sub>3</sub> vanwege het corrosief karakter van deze stof.

### 3.2.1.5. Concentraties en relevantie van asgehalte

Het asgehalte van de verschillende hernieuwbare brandstoffen varieert sterk en hangt af van de hoeveelheid mineralen aanwezig in de hernieuwbare brandstof. Het asgehalte beïnvloedt de manier van ontassen en ook de verbrandingstechniek die toegepast kan worden. Brandstoffen met een laag asgehalte zijn beter geschikt voor thermisch gebruik dan brandstoffen met een hoog asgehalte omdat lage asgehalten zowel het ontassen, het atransport en -opslag, als het mogelijke hergebruik of storten vereenvoudigen. Hogere asgehalten in de brandstof leiden meestal tot hoge stofemissies en beïnvloeden het ontwerp van de warmtewisselaar, het reinigingssysteem voor de warmtewisselaar en de ontstoffingstechniek.

Si, Ca, Mg, K, Na en P zijn de belangrijkste asvormende elementen die in hernieuwbare brandstoffen voorkomen.

K, P en Mg zijn relevante plantnutriënten. Deze elementen zijn dus van belang in het mogelijk gebruik van de assen als meststoffen.

In combinatie met S en Cl spelen K en Na een belangrijke rol in corrosiemechanismen. Deze elementen verdampen gedeeltelijk tijdens het verbrandingsproces en vormen alkalichloriden die condenseren op de warmtewisselaars of reageren met de rookgassen, waardoor sulfaten worden gevormd en chloriden vrijkomen.

Onderzoek heeft aangetoond dat hernieuwbare brandstoffen met een moleculaire verhouding S/Cl onder 2, corrosieproblemen veroorzaken omdat de chloridenvorming significant wordt (Samenoja K. and Mäkelä K. 2000).

Verder leidt het vervluchtigen en vervolgens de condensatie van vluchtige metalen tot de vorming van vlieg-as-deeltjes (aërosols), welke moeilijk neerslaan in stoffilters. Deze aërosolen vormen lagen op de ketelpijpen en vormen een ecologisch- en gezondheidsrisico. Vandaar dat een lage concentratie K en Na dus beter is.

De concentraties aan zware metalen in de assen van hernieuwbare brandstoffen zijn van uiterste belang bij het (her)gebruik van deze assen. Door het gebruik van primaire maatregelen kan de concentratie aan zware metalen in de assen worden beperkt. Dit is uitgebreider besproken in hoofdstuk 4.

Stro-, granen-, gras- en olijfresidu-assen bevatten aanzienlijk minder zware metalen dan hout- en schorsassen. Dit kan verklaard worden door de langere rotatieperiode van hout, welke accumulatie bevordert. De hogere afzettingsgraad in bossen en de lagere pH-waarden van de bosgronden doen de oplosbaarheid van de meeste zware metalen toenemen.

### **3.2.1.6. Richtwaarden en -ranges voor elementen in hernieuwbare brandstoffen en hun assen voor gebruik in verbrandingstoepassingen**

Uitgebreid onderzoek naar het verbrandingsgedrag van vaste biomassa door Obernberger (*Obernberger I.*) heeft geleid tot het opstellen van richtwaarden voor elementen aanwezig in hernieuwbare brandstoffen waarboven emissie-gerelateerde problemen kunnen optreden (Tabel 51). Voor brandstoffen die buiten de gegeven ranges vallen, zijn bijkomende technische maatregelen nodig om de emissies onder controle te houden. Deze richtwaarden werden afgeleid uit langdurige ervaringen, maar moeten gezien worden als richtinggevend voor het inschatten van mogelijke problemen vooraf. De interacties van alle elementen samen kan moeilijk algemeen worden geëvalueerd. De beperkende factoren zijn sterk afhankelijk van het type verbrandingsinstallatie, de operationele condities, emissiegrenswaarden, stoomparameters, mogelijke asrecyclage etc. Zo zullen bijvoorbeeld Cl gehalten < 0,1 gew.% niet voldoende zijn om corrosie van de oververhitter te voorkomen bij hoge stoomwaarden (S. Van Loo en J. Koppejan; 2007).

**Tabel 51:** Richtwaarden voor elementen in hernieuwbare brandstoffen en hun assen waarbij deze zonder (technisch) probleem in moderne verbrandingsinstallaties kunnen verbrand worden (Obernberger I.)

Element	Richtconcentratie brandstof (gew.% op droge basis)	Beperkende parameter	Technische oplossingen
N	< 0,6	NOx emissies	Primaire maatregelen (getrapte verbrandingslucht)
	< 2,5		Secundaire maatregelen (selectieve niet-katalytische reductie (SNCR) of selectieve katalytische reductie (SCR))
Cl	< 0,1	Corrosie	<ul style="list-style-type: none"> <li>- uitloggen van de brandstof</li> <li>- automatische reiniging van de warmtewisselaar</li> <li>- coaten van ketelpijpen</li> <li>- geschikte materiaalkeuze</li> </ul>
	< 0,1	HCl emissies	<ul style="list-style-type: none"> <li>- droge adsorptie</li> <li>- scrubbers</li> <li>- uitloggen van de brandstof</li> </ul>
	< 0,3	PCDD/F	- adsorptie op actieve kool
S	< 0,1	Corrosie	Zie Cl
	< 0,2	SO <sub>2</sub> emissies	Zie HCl emissies
Ca	15-35	Assmelpunt	Temperatuurscontrole
K	< 7,0	assmelpunt, afzettingen, corrosie	Tegen corrosie: zie Cl
	-	Aërosolvorming	Efficiënte stofverwijdering, uitloging van de brandstof
Zn	< 0,08	asrecyclage, asgebruik	Gedeeltelijke afscheiding zware metalen, asbehandeling
	-	Stofemissies	Efficiënte stofafscheiding, behandeling van de condensaten
Cd	< 0,0005	asrecyclage, asgebruik	Zie Zn
	-	Stofemissies	Zie Zn

Uit bovenstaande tabel kan afgeleid worden dat voor vaste biomassa emissie-gerelateerde problemen kunnen worden verwacht bij een N-gehalte van > 0,6 wt% (d.b.). Dit zal voornamelijk voorkomen bij stro, graangewassen en -korrels en grassen. Corrosie ten gevolge van Cl en HCl emissies worden verwacht bij brandstofconcentraties boven 0,1 wt% (d.b.) en zijn vandaar relevant voor stro, graangewassen en grassen. Dioxineproblemen worden verwacht vanaf een Cl-concentratie > 0,3 wt% (d.b.) en dus m.n. van belang voor plantaardig materiaal. Wat SO<sub>2</sub> emissies betreft, kunnen problemen verwacht worden vanaf 0,2 wt% (d.b.) zwavel in de brandstof. Dit kan dus relevant zijn voor stro en grassen. Meer over potentiële emissies bij verbranding van biomassa kan teruggevonden worden onder § 3.7.1.



### 3.2.1.7. *Databanken met hernieuwbare brandstofkarakteristieken*

Omdat er zoveel verschillende hernieuwbare brandstoffen bestaan, is er zeker nood aan een correcte inschatting van de brandstofkarakteristieken welke essentieel zijn voor het ontwerp van nieuwe installaties. Daarom zijn er reeds een aantal databanken beschikbaar met gegevens betreffende de samenstellingen van hernieuwbare brandstoffen en hun assen. Deze databanken werden opgebouwd op basis van huidige praktijkvoorbeelden.

- de databank opgezet in het kader de IEA Bioenergy Agreement onder de taak ‘Biomass combustion en co-firing’ en bevat momenteel 1560 verschillende hernieuwbare brandstof- en asstalen: <http://www.ieabcc.nl>;
- de BIOBIB databank ontwikkeld door het Instituut voor chemische ingenieurstechnieken, brandstof en milieutechnologie aan de Universiteit in Wenen, deze bevat momenteel 647 hernieuwbare brandstofstalen voornamelijk uit Europese installaties: <http://www.vt.tuwien.ac.at>;
- de Phyllis databank ontworpen door het Nederlandse energie onderzoekscentrum (ECN), bevat samenstellingen van hernieuwbare brandstoffen en afvalbrandstoffen (totaal 2275 data records): <http://www.ecn.nl/Phyllis>.

### 3.2.2. **Verbranding** (Vanderstraeten, P. en Devriendt, N. 2003; Leitfaden bioenergie, 2007; S. Van Loo en J. Koppejan; 2007)

Voor het verbranden van vaste hernieuwbare brandstoffen zijn verschillende technieken beschikbaar. Typisch voor deze industriële verbranding is de automatisatie van de voeding van de brandstof en asafvoer en de toepassing van zuig-trekventilatie en luchttoevoer. Dit leidt tot belangrijke voordelen op milieutechnisch vlak omwille van de hoge continuïteit van de verbranding, mogelijkheden voor het verbeteren van de luchtverdeling, ed.

Het ontwerp van de verbrandingsinstallatie hangt af van het type en de vorm van de gebruikte brandstof, de stookwaarde, het asgehalte, het vochtgehalte en de boilertoepassing.

In onderstaande paragrafen wordt dieper ingegaan op de toepasbaarheid van elk van de systemen. Voor een technische beschrijving van deze technologieën wordt verwezen naar de technische fiches.

#### 3.2.2.1. *Roosterverbranding*

Bij roosterverbranding vindt de verbranding van de brandstof plaats op een rooster. Er worden twee typen van roosterverbranding onderscheiden: vast- en bewegend rooster.

Om een volledige verbranding te verkrijgen is het van belang dat de brandstof homogeen verdeeld is over het roosteroppervlak. Voor hernieuwbare brandstoffen worden dikwijls watergekoelde roosters toegepast. Watergekoelde roosters worden gebruikt omdat vaste hernieuwbare brandstoffen door hun lage asgehalte de tegels niet voldoende beschermen tegen de vuurhaard. Er kunnen verschillende typen van systemen worden onderscheiden bij roosterverbranding. In wat volgt worden enkel de meest gebruikte systemen voor de verbranding van hernieuwbare brandstoffen besproken. Voor een uitgebreidere beschrijving van roosterverbranding zie technische fiche Roosterverbranding (Bijlage 4 TF 22).

### **a. Trappen rooster**

De brandstof wordt via techters op een bewegend trappenrooster gebracht. De beweging van de roosters zorgen voor het omwoelen en het transport van de brandstof. De brandstof doorloopt achtereenvolgens verschillende fasen: drogen, pyrolyseren, vergassen en ten slotte verbranding. De primaire lucht wordt onderaan door het rooster toegevoegd. De secundaire lucht wordt boven de vlammen ingeblazen om een goede uitbrand te verzekeren. In dit type ovens kunnen grote stukken integraal worden verbrand. Roostersystemen zijn uitermate geschikt voor verbranden van houtachtige grovere biomassa met een hoog vochtpercentage (afhankelijk van de uitvoering tot 40-65% op natte basis) in systemen tot ongeveer 80 MWth.

### **b. Onderschroefstoker**

Bij een onderschroefstoker wordt de brandstof via een schroef onderaan in de vuurhaard gebracht. Rond de vuurhaard bevinden zich vaste roosters waardoor primaire lucht wordt aangevoerd. Door de aanvoer van onderaan wordt de brandstof langzaam opgestuwd. De van onder aangevoerde brandstof wordt langzaam opgewarmd. Aan de oppervlakte van het brandstofbed stijgt de temperatuur zodat er vergassing optreedt. De gevormde gassen mengen zich met de lucht boven het brandstofbed en ontsteken door de hoge temperatuur aldaar. De verkoolde brandstof komt aan de oppervlakte eveneens in aanraking met zuurstof, vergast en verbrandt. Door toevoeging van secundaire lucht boven het brandstof bed krijgt men een volledige verbranding (Vyncke, 2008).

Een onderschroefstoker is geschikt voor het verbranden van versnipperd hout, spanen en in beperkte mate voor houtpellets en houtstof. De minimale en maximale stukgrootte van het materiaal dat kan worden verwerkt is beperkt. Ook het asgehalte en assamenstelling zijn beperkende factoren voor dit type installatie. Brandstoffen met een hoog asgehalte en/of assen met een laag smeltpunt zijn niet geschikt voor dit type installatie. De grootte van dit type installatie is technisch beperkt tot 5 MWth.

### **c. ‘Spreader stoker’**

Bij ‘spreader stokers’ wordt de brandstof pneumatisch naar de verbrandingszone getransporteerd en op het rooster gebracht. Voor poederachtige fracties wordt indien nodig gebruik gemaakt van mondstukken. De fijnste fracties verbranden wanneer ze door de lucht zweven. De zwaardere fractie verdeelt zich gelijkmatig over het rooster, en vormt zo een laag die snel kan verbranden. Het rooster zelf beweegt langzaam in de richting van de ketel. Ongeveer de helft van de verbrandingslucht wordt als primaire lucht toegevoegd via kleine mondstukjes in het rooster. De secundaire lucht wordt in de verbrandingszone ingebracht. De mondstukjes voor de secundaire lucht zijn zo geplaatst dat een efficiënte menging van lucht en verbrandingsgassen verzekerd is. In tegenstelling tot een bewegend rooster kunnen bij dit type van verbranding geen verschillende zones op het rooster onderscheiden worden (drogen, pyrolyseren, vergassen, verbranden). De verbranding gebeurt vrij gelijkmatig over het rooster.

Een spreader stoker is geschikt voor de verbranding van alle types van vaste hernieuwbare brandstoffen. Er is ervaring met het systeem op houtchips, houtstof, houtafval, schors, kippenmest, chamignoncompost en diersoep. Dit type van installaties bevinden zich in een range van 10 tot 100 MWth. ([www.AET-biomass.com](http://www.AET-biomass.com))

#### **d. Inblaasbrander**

Het verbrandingsrooster wordt ingebouwd in de vuurhaard van de ketel. Vanaf een doserend systeem wordt de brandstof met een nauwkeurig berekende luchthoeveelheid pneumatisch naar de vuurhaard gebracht. De brandstof en de primaire lucht worden met hoge snelheid tangentieel in de verbrandingskamer geïnjecteerd. Afhankelijk van het systeem wordt al dan niet steunbrandstof gebruikt. De grotere brandstofdeeltjes vallen op het rooster en branden daar verder uit. De kleinere brandstofdeeltjes verbranden in de vlucht. Vervolgens wordt secundaire lucht toegevoerd om de totale verbranding mogelijk te maken. (Vyncke, 2008)

Inblaasbranders zijn geschikt voor de verbranding van fijne biomassadeeltjes (< 2 mm), van regelmatige vorm en grootte, met een relatief laag vochtgehalte (< 20% op natte basis).

#### **e. 'Balen' verbranding**

In dit type van installatie kan slechts een beperkt aanbod aan hernieuwbare brandstof verwerkt worden. Dit type van verbranding wordt typisch gebruikt voor grasachtige hernieuwbare brandstoffen. Na de oogst wordt deze brandstof gedroogd en vervolgens in balen geperst. De balen die worden verwerkt ook aan strikte eisen voldoen wat betreft hun afmetingen. Afhankelijk van het toegepaste systeem worden balen ofwel in hun geheel, in schijven, verkleind of losgewerkt verbrand.

Bij de verbranding van grasachtige hernieuwbare brandstoffen moeten enkele bijzonderheden in acht worden genomen. Het lagere smeltpunt van de assen en de sintering ervan kunnen ervoor zorgen dat de primaire luchttoevoer wordt belemmerd. Hierdoor wordt de verbranding gehinderd. De maximale temperatuur in de oven mag niet hoger zijn dan 800-900°C. Om sintering en slakvorming op het rooster te voorkomen worden watergekoelde roosters gebruikt. De capaciteit van dergelijke systemen is verbonden aan de manier van inbrengen en varieert tussen 0,05 tot > 20 MWth. (Kaltschmit & Hartman, 2001)

#### **3.2.2.2. Wervelbedverbranding**

Bij wervelbedverbranding vindt de verbranding plaats in een zandbed. Onderaan het zandbed wordt primaire lucht ingeblazen zodanig dat het zand wordt opgewerveld. De snelheid van de luchttoevoer wordt zodanig hoog gekozen, dat het zand zich niet meer als een vaste stof maar als een fluidum gedraagt. De brandstof wordt bovenaan het wervelbed toegevoerd. Het ondergaat door de turbulentie een intensieve menging met het zand, waarbij een goede warmteoverdracht plaatsgrijpt. De organische fractie van het afval vergast hierdoor en ontbrandt. De efficiënte warmteoverdracht die in het wervelbed plaatsvindt, resulteert in een goede uitbrand. Boven het wervelbed wordt secundaire lucht ingeblazen. Binnen de wervelbedverbranding kunnen verschillende typen worden onderscheiden. Voor de verbranding van biomassa zijn vooral de bubbling fluidised bed (stationaire wervelbedden) en circulating fluidised bed (circulerende wervelbedden) van belang.

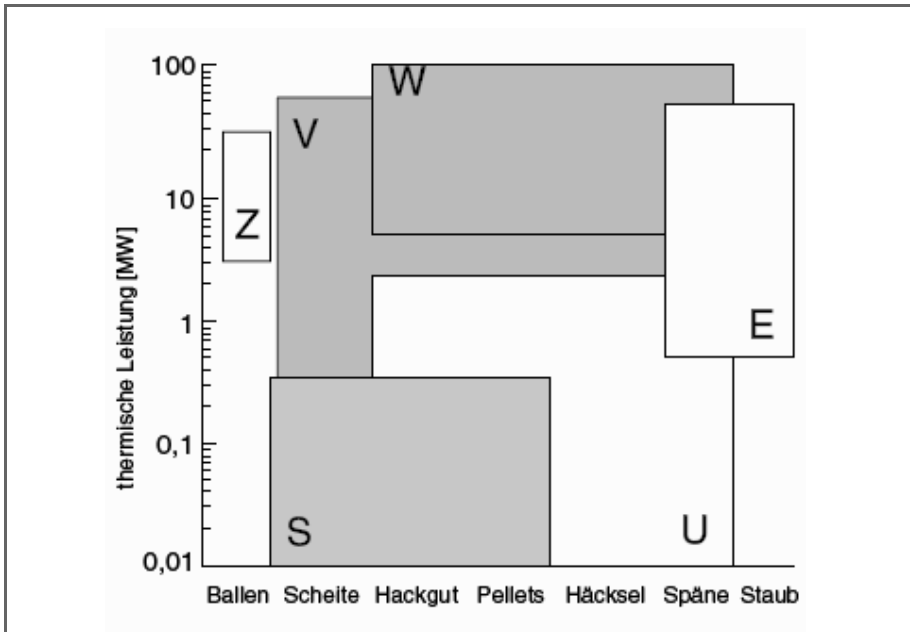
Een wervelbed heeft vooral voordeel t.o.v. een roosteroven op het vlak van flexibiliteit. Een wervelbed kan, in tegenstelling tot een roosteroven, zeer goed zowel schommelingen in de warmtevraag als schommelingen in de brandstofsamenstelling volgen. Tevens kan ook erg vochtige biomassa probleemloos ingezet worden.

De stationaire wervelbedverbranders (BFB) zijn geschikt voor kleinere vermogens (5-15 MWth) maar ook vermogens tot 80 MWth. De circulerende wervelbedverbranders (CFB) zijn eerder geschikt voor grote vermogens (vanaf 15 MWth).

Voor een uitgebreidere beschrijving van de werfelbedoven, zie technische fiche Wervelbedoven (Bijlage 4 TF 23).

### 3.2.2.3. *Overzicht toepassingsgebied en voor- en nadelen verschillende verbrandingstechnologieën*

Er bestaan verschillende verbrandingstechnologieën die allen gebaseerd zijn op verschillende basisprincipes, en met hun eigen mogelijkheden wat betreft de capaciteit van de installatie. In volgende figuur wordt een overzicht gegeven van de verschillende vormen waarin de vaste hernieuwbare brandstoffen zich bevinden en de capaciteitsrange waarbinnen de installatie zich kan bevinden.



**Figuur 5:** Overzicht van verbrandingssystemen voor hernieuwbare brandstoffen met capaciteitsranges van de installaties en de vorm waarin de hernieuwbare brandstoffen zich moeten bevinden (E: inblaasbrander; S: schachtverbranding; U: onderschroefstoker; V: bewegend rooster; W: wervelbedverbranding; Z: cigar burner)

Onderstaande tabel geeft een overzicht van zowel de voordelen en nadelen als het toepassingsgebied van beschikbare verbrandingstechnieken voor vaste hernieuwbare brandstoffen. Aangaande de gasvormige emissies vertonen de werfelbedovens normaal lagere CO en NOx emissies omwille van hun homogene en daardoor beter controleerbare verbrandingsvoorwaarden. Roostersystemen vertonen dan weer lagere stofemissies en een betere uitbrand van de vliegasen.

**Tabel 52:** *Overzicht voor- en nadelen en toepassinggebieden voor verschillende verbrandingstechnologieën voor vaste biomassa (Van Loo en J. Koppejan; 2007)*

Voordelen	Nadelen
<i>Onderschroefstoker</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lage investeringskost voor installaties &lt; 6MWth</li> <li>- Eenvoudige en goede controle op lading d.m.v. continue brandstoftoevoer en lage brandstofmassa in de oven</li> <li>- Lage emissies bij deellast door goede brandstofdosering</li> <li>- Lage flexibiliteit inzake partikelgrootte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Enkel geschikt voor biomassa met laag asgehalte en hoog assmelpunt (hout &lt; 50 mm)</li> </ul>
<i>Roosterovens</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lage investeringskost voor installaties &lt; 20MWth</li> <li>- Lage operationele kost</li> <li>- Lage stofbelasting in de rookgassen</li> <li>- Minder gevoelig voor slakken dan wervelbedovens</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Meestal niet mogelijk hout en grasachtige biomassa te mengen</li> <li>- Efficiënte NOx reductie vereist speciale technologieën (combinatie van primaire en secundaire maatregelen)</li> <li>- Hoge luchtvermaat (5-8 vol%) doet efficiëntie afnemen</li> <li>- Verbrandingsvoorwaarden niet zo homogeen als bij wervelbedovens</li> <li>- Lage emissies bij deellast vereisen een gesofisticeerde procescontrole</li> </ul>
<i>Inblaasovens</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lage luchtvermaat (4-6 vol%) doet efficiëntie toenemen</li> <li>- Hoge NOx reductie door efficiënte getrapte luchttoevoer en mengen mogelijk indien cycloon of vortex branders gebruikt worden</li> <li>- Zeer goede laadcontrole en snelle aanpassing van lading mogelijk</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Partikelgrootte van brandstof is beperkt (&lt; 10-20 mm)</li> <li>- Hoge slijtage van het isolatiemateriaal als cycloon of vortex branders worden gebruikt</li> <li>- Een extra opstartbrander is nodig</li> </ul>
<i>Stationaire wervelbedovens</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geen bewegende delen in de hete verbrandingskamer</li> <li>- NOx reductie door getrapte verbrandingslucht werkt goed</li> <li>- Hoge flexibiliteit naar vochtgehalte en soort biomassa</li> <li>- Lage luchtvermaat (3-4 vol%) doet efficiëntie van de installatie toenemen en rookgasdebit dalen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hoge investeringskost, enkel interessant voor installaties &gt; 20MWth</li> <li>- Hoge operationele kosten</li> <li>- Beperkte flexibiliteit naar partikelgrootte van brandstof (&lt; 80 mm)</li> <li>- Gebruik van hernieuwbare brandstoffen met hoog alkali gehalte (vb. stro) kan problemen geven omwille van opstapeling in het bed als geen maatregelen worden getroffen</li> <li>- Hoge stofbelading in de rookgassen</li> <li>- Verlies van bedmateriaal met de assen als geen maatregelen worden getroffen</li> </ul>

Voordelen	Nadelen
<i>Circulerende wervelbedovens</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geen bewegende delen in de hete verbrandingskamer</li> <li>- NO<sub>x</sub> reductie door getrapte verbrandingslucht werkt goed</li> <li>- Hoge flexibiliteit naar vochtgehalte en soort biomassa gebruikt</li> <li>- Homogene verbrandingsvoorwaarden in de oven als meerdere brandstofinjectoren worden gebruikt</li> <li>- Hoge specifieke warmteoverdracht door hoge turbulentie</li> <li>- Gebruik van additieven makkelijk</li> <li>- Lage luchtvermaat (1-2 vol%) doet efficiëntie van de installatie toenemen en rookgasdebit dalen</li> <li>- mogelijkheid tot werking bij hogere stoomtemperaturen door het onderbrengen van de laatste oververhitter in het zand.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hoge investeringskost, enkel interessant voor installaties &gt; 30MW<sub>th</sub></li> <li>- Hoge operationele kosten</li> <li>- Beperkte flexibiliteit naar partikelgrootte van brandstof (lengte+breedte+hoogte &lt; 250mm)</li> <li>- Gebruik van hernieuwbare brandstoffen met hoog alkali gehalte (vb. stro) kan problemen geven omwille van opstapeling in het bed als geen maatregelen worden getroffen</li> <li>- Hoge stofbelading in de rookgassen</li> <li>- Verlies van bedmateriaal met de assen als geen maatregelen worden getroffen</li> <li>- Gevoelig voor slakken</li> </ul>

### 3.3. Vloeibare hernieuwbare brandstoffen

Voornaamst gebruikte bronnen: BTG, 2002; Briffaerts K., 2006; ECN, 2005; Infomil, 2003 en documenten op [www.senterNovem.nl](http://www.senterNovem.nl) betreffende duurzame energie.

#### 3.3.1. Algemeen

Onder vloeibare hernieuwbare brandstoffen worden vetten en oliën verstaan van dierlijke of plantaardige oorsprong. Afhankelijk van hun oorsprong hebben deze vetten en oliën sterk verschillende eigenschappen. Het type vet wordt bepaald door de aanwezige vetzuren en andere al dan niet verzeepbare bestanddelen. Vetten die bij kamertemperatuur vloeibaar zijn worden doorgaans oliën genoemd.

*Plantaardige oliën en vetten* bevatten doorgaans meer onverzadigde vetzuren en hebben hierdoor vaak een lager smeltpunt dan dierlijke vetten. Palmolie en kokosnootolie vormen hierop een uitzondering, het zijn voorbeelden van plantaardige oliën die wel een hoger gehalte aan verzadigde vetzuren bevatten.[Wikipedia]

Bij oliën en vetten van plantaardige oorsprong kunnen drie verschillende types worden onderscheiden:

- geperst uit landbouwproducten (bv. koolzaadolie),
- thermisch geproduceerd uit biomateriaal (bv. pyrolyse of HTU olie),
- afvalproducten (bv. frituurvet en -olie, destillaat van olieproductie (vrije vetzuren).

Geperste plantaardige olie, ook wel pure plantaardige olie (PPO) kan gebruikt worden als hernieuwbare brandstof. Omdat deze olie geproduceerd wordt op basis van zuivere grondstoffen kunnen we uitgaan van de veronderstelling dat het merendeel van de onderstaande specifieke kenmerken niet van toepassing zijn op deze brandstof.

Thermisch geproduceerde oliën zijn in ontwikkeling. Ze kunnen gebruikt worden om de zogeheten “tweede generatie biodiesel” te produceren. Op basis van de beschikbare informatie kunnen we besluiten dat deze olie momenteel niet rechtstreeks wordt gebruikt als brandstof. De genoemde afvalolieproducten op basis van plantaardig materiaal tenslotte worden reeds ingezet als brandstof. Gebruikte frituurvetten en -oliën (GFVO) worden later in deze paragraaf besproken. Het destillaat van olieproducten (vrije vetzuren = stearine) wordt momenteel gebruikt als brandstof. Stearine wordt verderop in deze paragraaf besproken.

*Dierlijke vetten* zijn afkomstig van dierlijke bijproducten. Ze worden ingedeeld in drie categorieën afhankelijk van de dierlijke bijproducten waaruit ze worden gemaakt. Deze drie categorieën zijn gebaseerd op het risico voor de verspreiding van overdraagbare ziekten op mens of dier.

- categorie 1 materiaal: hoogste risico;
- categorie 2: risico omwille van ziekten of aanwezigheid van residuen van geneesmiddelen;
- categorie 3: dierlijke producten afkomstig van voor menselijke consumptie goedgekeurde dieren.

Aan deze indeling in categorieën zijn ook de mogelijke toepassingen van het vet gelinkt. In Vlaanderen wordt momenteel geen dierlijk vet geproduceerd uitgaande van uitsluitend categorie 2-materiaal. Categorie 2-materiaal wordt samen met categorie 1-materiaal verwerkt. Het resulterende dierlijk vet komt hierdoor in categorie 1 terecht. Voor deze brandstoffen zijn onderstaande kenmerken van belang.

*Gebruikte frituurvetten en -oliën* (GFVO) bestaan meestal uit een mengsel van plantaardige oliën en dierlijke vetten. GFVO wordt niet rechtstreeks ingezet als brandstof. Na gebruik worden de vetten en oliën ingezameld en gezuiverd. Deze gezuiverde GFVO kunnen vervolgens worden ingezet als brandstof.

*Stearine* is een oleochemisch product dat bestaat uit vetzuren. Het wordt bereid door vet te verzeppen en vervolgens de gemaakte zeep op te lossen en te laten reageren met een zuur. Hierbij slaan vetzuren neer, die samen de stearine vormen. De precieze samenstelling van stearine verschilt, omdat deze afhankelijk is van de samenstelling van de gebruikte vetten. Na bereiding wordt de stearine soms nog gezuiverd. Stearine is grondstof voor de bereiding van vetzuren, zoals stearinezuur, palmitinezuur en diverse andere oleochemische producten. Tegenwoordig wordt stearine gebruikt als brandstof, zij het enkel in branders. Aangezien het een destillaat betreft dat uitsluitend uit vrije vetzuren bestaat is enkel dit specifiek kenmerk van belang voor het inzetten van deze brandstof.

*Biodiesel* is een vloeibare hernieuwbare brandstof die sterk lijkt op fossiele diesel qua eigenschappen. Biodiesel kan geproduceerd worden op basis van dierlijke en plantaardige vetten (Elbersen). Deze brandstof wordt voornamelijk gebruikt voor transportdoeleinden, maar kan in principe ook gebruikt worden in stationaire installaties. De onderstaande specifieke kenmerken zijn bijgevolg niet van toepassing voor deze brandstof omdat het productieproces erop gericht is om deze specifieke kenmerken te minimaliseren.

In onderstaande paragrafen wordt dieper ingegaan op de specifieke kenmerken van vloeibare hernieuwbare brandstoffen die een invloed hebben op het verbrandingsproces.

Het verloop en de eigenschappen van het verbrandingsproces hangen af van de brandstofeigenschappen. Een goede kennis van deze eigenschappen is van cruciaal belang om een installatie op een degelijke manier uit te baten.

In deze BBT-studie worden enkel PPO (pure plantaardige olie), stearine, vrije vetzuren, GFVO (gebruikte frituurvetten en -oliën), dierlijk vet en biodiesel beschouwd. Er werd geopteerd om te focussen op deze brandstoffen omdat ze, in het kader van deze studie, als de meest relevante beschouwd kunnen worden.

### 3.3.1.1. *Asgehalte*

Het asgehalte van vloeibare hernieuwbare brandstoffen hangt nauw samen met de herkomst ervan. Voor dierlijke vetten is het asgehalte afhankelijk van de ouderdom van het uitgangsmateriaal, de zuiverheid en de herkomst. Bij gezuiverd GFVO is het asgehalte vooral afhankelijk van de kwaliteit van het uitgangsmateriaal en de graad van zuivering tijdens de voorbehandeling. Voor PPO en stearine zijn er geen aanwijzingen dat het asgehalte problematisch zou kunnen zijn.

Asgehalten van vloeibare hernieuwbare brandstoffen zijn doorgaans lager dan 1 gew.%, en vaak lager dan 0,1 gew.%.

Het asgehalte van de brandstof dient best beperkt te blijven tot < 0,05 gew.% indien naschakeling van een selectieve katalytische reductie (SCR) nodig is.

### 3.3.1.2. *Vrije vetzuren*

Bij vetsplitsing worden de vetzuren afgescheiden van het glycerol molecule. Deze vetzuren worden dan vrije vetzuren genoemd. Vetsplitsing kan onder natuurlijke omstandigheden gebeuren. Daardoor bevatten ruwe plantaardige oliën en dierlijke vetten steeds vrije vetzuren (R. Verhé).

Het gehalte vrije vetzuren in *pure plantaardige olie* varieert afhankelijk van de soort. Ruwe koolzaadolie heeft gemiddeld een laag vrij vetzuurgehalte (< 1%), ruwe palmolie heeft doorgaans een hoog vrij vetzuurgehalte (3-5%). Geraffineerde plantaardige olie bevat doorgaans minder dan 1,5% vrije vetzuren. *Dierlijk vet* categorie 1 kan zeer hoge gehalten vrije vetzuren bevatten, tussen 8-10% in de winter tot 49% in de zomer. *Dierlijk vet* categorie 3 bevat doorgaans tussen 2 en 10% vrije vetzuren. *GFVO* hebben doorgaans een hoger gehalte aan vrije vetzuren. Het gehalte kan oplopen tot 10%. Gemiddeld gezien is het gehalte vrije vetzuren hoger in GFVO dan in dierlijk vet categorie 3.

Voor het verbranden van vloeibare hernieuwbare brandstoffen is de aanwezigheid van vrije vetzuren niet gewenst omdat ze corrosief zijn voor de installatie. Het vetzuurgehalte dient lager te zijn dan 2%. Ze moeten via een voorbehandeling verwijderd worden.

### 3.3.1.3. *Verontreinigingen*

Onzuiverheden die in hernieuwbare brandstoffen kunnen voorkomen zijn zeer divers. De contaminaties kunnen een externe oorsprong hebben of kunnen tijdens de gebruiksfase gevormd worden. Zo zijn vrije vetzuren en water ongewenste onzuiverheden in vetten en oliën. Dierlijk vet kan bovendien ondermeer onoplosbare onzuiverheden, PCB's, dioxines, chloor, fosfor, zwavel, zware metalen bevatten. In GFVO zijn voornamelijk de polymere verbindingen van belang. Fosfor en zware metalen kunnen een inhiberend effect geven op de DeNOx katalysator. Vervuilingen worden bij voorkeur verwijderd voor het gebruik als brandstof. Het fosforgehalte ligt best lager dan 5-10 ppm. Voor de overige pollutanten ligt het gehalte best lager dan 15 ppm. De meeste van deze verontreinigingen kunnen verwijderd worden via destillatie.



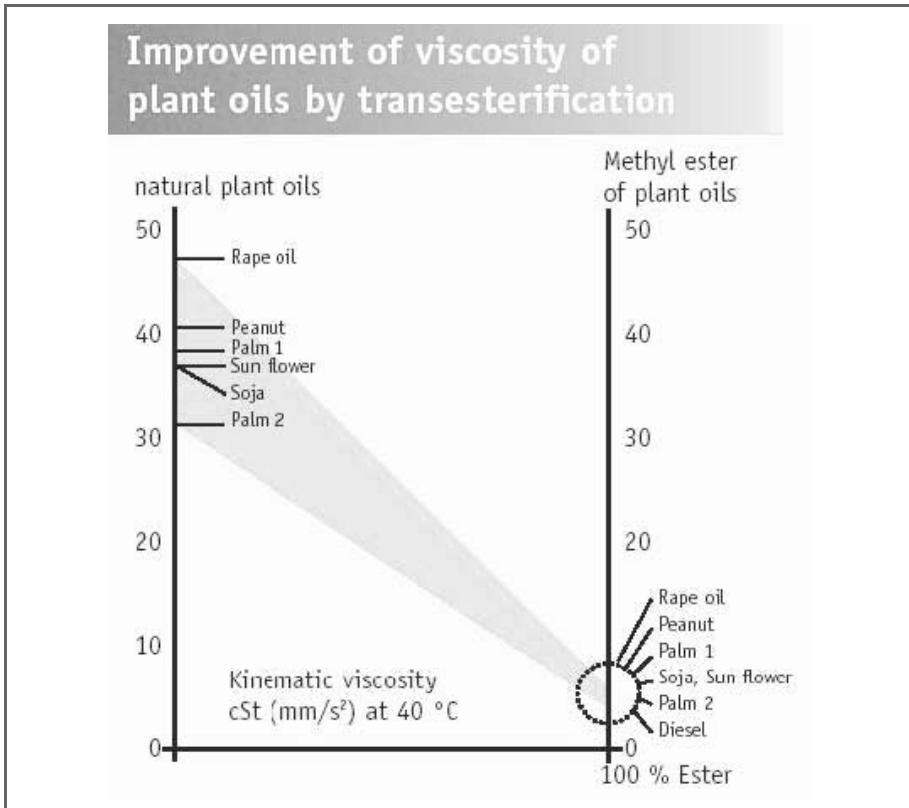
### a. *Viscositeit*

Vloeibare hernieuwbare brandstoffen hebben doorgaans een hoge viscositeit in vergelijking met klassieke fossiele brandstoffen (met uitzondering van zware fuel). De kinematische viscositeit van vloeibare brandstoffen ligt meestal tussen 35 en 40 mm<sup>2</sup>/s bij 40°C.

Eén van de belangrijkste voorwaarden opdat vloeibare brandstoffen kunnen gebruikt worden als brandstof in een dieselmotor is het verlagen van deze viscositeit tot een waarde die deze van diesel benadert. Dit is 4,50 mm<sup>2</sup>/s met een limiet van 5 mm<sup>2</sup>/s (bij 40°C).

Er zijn drie manieren om deze viscositeit te verlagen:

- *(voor)Verwarmen van de oliën en vetten*  
Hierbij mag de temperatuur niet te hoog zijn, maximaal 80-90°C, om oxidatie te vermijden. Deze temperatuur kan best niet te lang worden aangehouden aangezien dit de belangrijke eigenschappen van de brandstof kan beschadigen.  
De wijze van voorverwarming kan zowel door externe energie gebeuren als door interne energie. De interne energie is afkomstig van de motor/brander zelf door middel van een warmtewisselaar. Hierbij maakt men gebruik van de warmte van de uitlaatgassen of van het systeem van waterkoeling.
- *Menging hernieuwbare olie met diesel en/of aardgas*  
Een andere oplossing om de viscositeit te doen dalen is het mengen met fossiele diesel en/of aardgas. Het doel blijft de installatie te laten draaien op 100% hernieuwbare brandstof, maar soms is het om milieutechnische en/of economische redenen nodig om andere mogelijkheden voor ogen te houden. In robuustere dieselmotoren (vb. scheepsmotoren) kan men bijvoorbeeld tot 40% hernieuwbare olie bijmengen zonder aanpassingen te moeten doen van de motor. Het mengen kan ook andere voordelen hebben, namelijk spoeling van de brandstof. Hoe hoger het percentage diesel, hoe minder verwarming er nodig is om de viscositeit te verlagen.
- *Verestering van olie*  
Door middel van een chemisch proces wordt de viscositeit drastisch verlaagd. Hierbij is het prijskaartje een belangrijk aspect in het al dan niet toepassen van deze techniek.  
De resultaten van veresterde hernieuwbare brandstoffen benaderen de verbrandingsvoorwaarden van traditionele dieselmotoren. Het cetaangetal bedraagt 50-52, vergelijkbaar met traditionele diesel. De prijs van deze brandstof is 15-20% hoger dan die van conventionele diesel.



**Figuur 6:** Verbetering van de viscositeit door verestering (Scheerlinck P., 2007)

Het gebruik van veresterde hernieuwbare brandstoffen werkt emissieverlagend voor zowel CO, CO<sub>2</sub>, HC, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> en andere rook partikels. Het verlaagt ook de grootte van de rookpartikels en de rookgastemperatuur verlaagt.

Tribologisch onderzoek (studie van de smering) resulteerde in de bevinding dat gebruik van veresterde hernieuwbare brandstoffen corrosie en slijtage van de motoronderdelen veroorzaakte, te wijten aan de aanwezigheid van zuurstof. Verbetering van de brandstofsamenstelling kan hier een oplossing bieden. In plaats van 50-100% kan men beter 7,5-15% veresterde hernieuwbare brandstof mengen met diesel en anticorrosieve additieven om aan de slijtage te weerstaan.

#### 3.3.1.4. *Vlampunt*

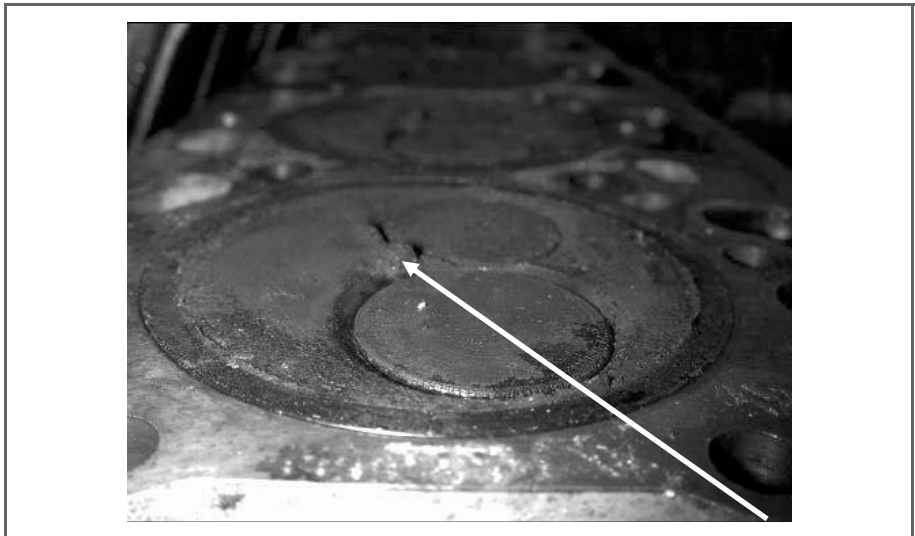
Het vlampunt van een chemische stof is de laagste temperatuur waarbij de stof nog genoeg damp afgeeft om tot ontbranding te kunnen komen wanneer hij in contact komt met een ontstekingsbron. Voor diesel bedraagt dit vlampunt ongeveer 90°C, terwijl zich dit voor hernieuwbare brandstoffen tussen 180 en 300°C bevindt. Hoe hogere het vlampunt des te moeilijker de ontbranding van de brandstof.

Een ander belangrijk punt is de temperatuur waarbij 50% van de vloeistof is verdampt. Dit punt ligt voor de meeste vloeibare hernieuwbare brandstoffen hoger dan voor fossiele diesel. Bij de afstelling van de motor is het van belang dit verschil te kennen, vermits de temperatuur op het einde van de compressie hoger moet zijn om eenzelfde verbrandingsefficiëntie te bereiken.

### 3.3.1.5. *Oxidatieproducten*

Olie met dubbele bindingen is sterk gevoelig voor polymerisatie. In aanwezigheid van zuurstof als radicaal zullen de dubbele bindingen breken en op die manier een langere keten vormen. Polymere verbindingen komen voornamelijk voor in GFVO, en ontstaan tijdens de gebruiksfase. Ze kunnen verwijderd worden via destillatie.

De belangrijkste gevolgen van deze polymerisatie bevinden zich rond de plaats van de injectie. Er ontstaat dan een fenomeen dat 'cocking' wordt genoemd. Dit is de gedeeltelijke afsluiting van de verstuiver door de vorming van bezinksel aan de neus van de verstuivers. Dit bezinksel wordt gevormd wanneer de temperatuur van de verstuivers lager is dan het vlampunt van de brandstof. Door de gedeeltelijke afsluiting van de verstuiver ontstaat er een onvolledige verbranding. Hierdoor ontstaat er op zijn beurt een 'trompet'-vormige afzetting. Deze trompetten hebben een negatieve invloed op de jets (= brandstofstralen). Ze gaan afwijken en de kwaliteit van de verbranding gaat verminderen.



**Figuur 7:** Zicht op cilinderkop met de vorming van een 'trompet' (Scheerlinck P., 2007)

Experimenten hebben aangetoond dat een verstuiver met één enkele jet het meest geschikt is voor deze toepassing. Bovendien zal een verstuiveroppervlakte van 0,2 à 0,3 mm<sup>2</sup> de vorming van trompetten kunnen vermijden. Belangrijk om te vermelden is dat het gebruik van spoeling met diesel bij het opstarten en stoppen van de motor de vorming van bezinksel grotendeels zal tegengaan.

### 3.3.2. Verbranding

Vloeibare hernieuwbare brandstoffen kunnen op een gelijkaardige manier als fossiele brandstoffen worden verbrand in stookinstallaties of dieselmotoren. De bestaande motoren/branders en/of de brandstof worden hierbij aangepast om optimale thermische en mechanische condities te bereiken voor de verbranding van vloeibare hernieuwbare brandstoffen. Een alternatief voor het omvormen van een traditionele dieselmotor is het gebruiken van de Elsbett motor of scheepsmotor.

#### 3.3.2.1. Verbrandingsmotor

In verbrandingsmotoren komt door verbranding van een brandstof energie vrij in de vorm van hoge druk. De hoge druk wordt omgezet in een beweging. Bij een conventionele verbrandingsmotor gebeurt dat door uitoefenen van een druk op een zuiger of schoepen.

Het is van belang de vloeibare brandstof alsdusdanig te filteren en te zuiveren dat de eigenschappen deze van de conventionele fossiele brandstoffen benaderen. Voor een probleemloze verbranding dienen de brandstoffen te voldoen aan bepaalde karakteristieken opgelegd door de constructeurs. De vorming van emissies wordt verder besproken in § 3.7.1.

#### a. Dieselmotor

Dieselmotoren zijn cilinderverbrandingsmotoren die werken volgens het principe van zelfontbranding. Dit wil zeggen dat het brandstof-lucht mengsel spontaan ontbrandt door de warmte die door de compressie van de lucht wordt opgewekt.

In zuigermotoren vindt de verbranding plaats in een cilinder met een zekere cilinderinhoud waarin zich een zuiger heen en weer beweegt. Op deze zuiger zitten zuigerveren. Een brandstofmengsel wordt in de cilinder gebracht, in de zuigerstand met het kleinste volume ontstoken, en draagt dan de door de ontploffing opgewekte energie op de zuiger over die zich met kracht uit de cilinder wil bewegen. Deze kracht en lineaire beweging wordt meestal overgebracht op een ronddraaiende krukas (zie bijlage 4 TF 18)

Het gebruik van dieselmotoren, ontworpen voor het gebruik van gewone diesel, voor hernieuwbare brandstoftoepassingen is een technologie die in volle ontwikkeling is. De techniek blijkt ook in de andere Europese landen niet verder te staan dan in Vlaanderen. In Duitsland bijvoorbeeld werken de meeste biodieselininstallaties nog hoofdzakelijk op gewone diesel. Geen enkele constructeur kan reeds zekerheid geven inzake levensduur, onderhoudsintervallen en haalbare emissies (Wärtsila, 2008; E. Van Wingen, 2005 en informatie VITO-energietechnologie).

Voor de optimale verbranding van vloeibare hernieuwbare brandstoffen in klassieke dieselmotoren moet rekening gehouden worden met enkele specifieke randvoorwaarden. Deze randvoorwaarden zoals opgenomen in volgende paragrafen zijn met name afgeleid uit de problematiek van het verbranden van palmolie in dieselmotoren.

De specifieke *randvoorwaarden* voor een optimale verbranding van de vloeibare brandstof in een dieselmotor zijn:

- a) Vlampunt
- b) Brandstof/zuurstofverhouding
- c) Ook de viscositeit, de aanwezigheid van oxidatieproducten en vrije vetzuren kunnen voor problemen zorgen. Aangezien deze problemen niet specifiek gebonden zijn aan de toepassing in dieselmotoren werd deze problematiek eerder besproken onder respectievelijk § 3.3.1.2 Vrije vetzuren, § 3.3.1.4 Viscositeit en § 3.3.1.6 Oxidatieproducten.

a) Vlampunt

Het vlampunt van diesel ligt bij 90°C en voor palmolie 180-300°C. Er is dus een interval tussen beiden van > 90°C. Als men palmolie zou willen gebruiken in een dieselmotor, dan zal het gewenst zijn de temperatuur te verhogen met ongeveer 90°C.

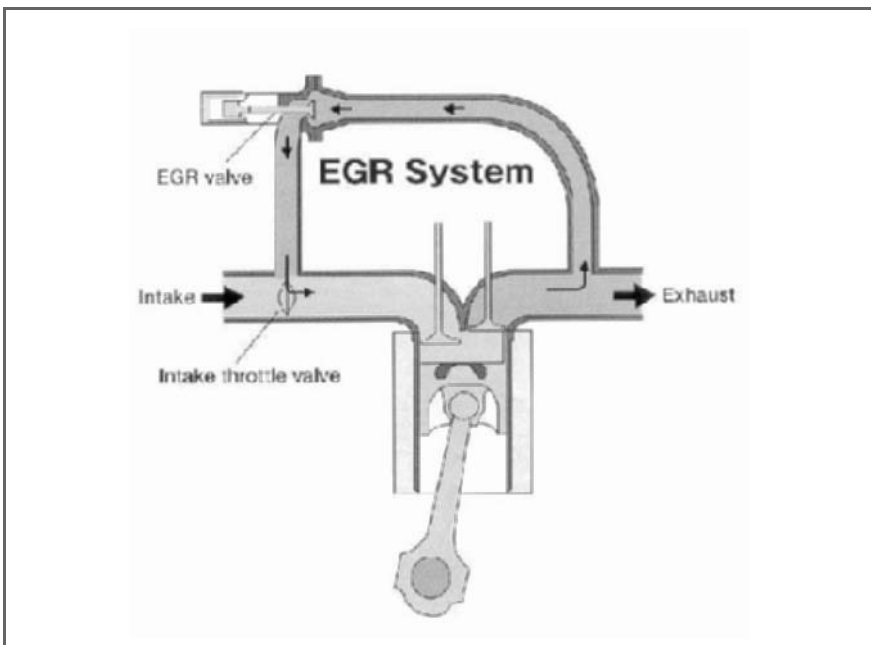
Er zijn verschillende manieren om de temperatuur te verhogen op het einde van de compressie.

- *Ontstekingsvertraging*

Dit is de eenvoudigste en ook de goedkoopste methode. Het tijdstip van de injectie wordt vertraagt. Op deze manier zal de compressie langer duren met een temperatuursverhoging op het einde van de compressie tot gevolg. Hierdoor kan men tot 60°C temperatuursverhoging bereiken. Men stelt wel een licht rendementsverlies vast.

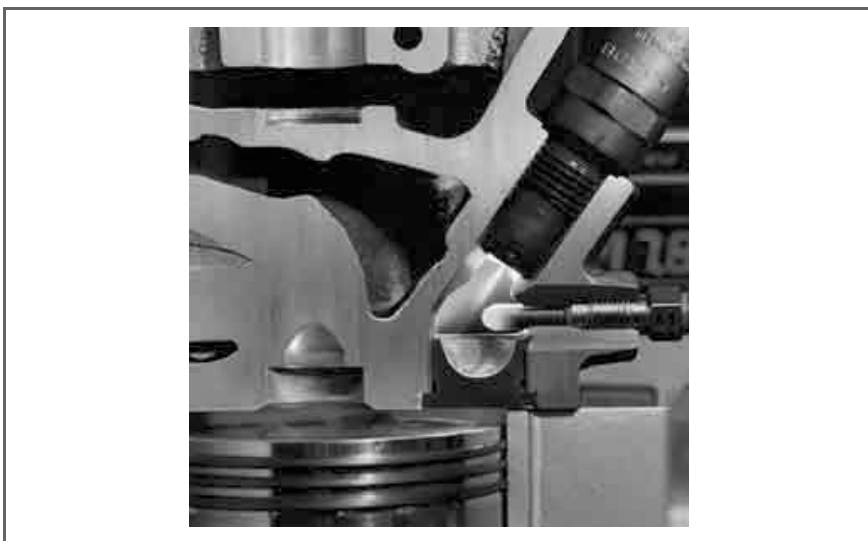
- *Hergebruik van verbrande gassen*

Een deel van de warme uitlaatgassen wordt bij de koelere inlaatgassen gevoegd. Hierdoor kan men een veel hogere temperatuur verzekeren op het einde van de compressieslag. Deze techniek is ook beter bekend onder de naam rookgasrecirculatie (RGR). Afhankelijk van het vermogen kan men tot 50% verbrande gassen terug injecteren. Op deze manier verzekert men een optimalere werking van de motor met minder brandstof, met de volgende gevolgen: betere verbranding, een constantere temperatuur van de verbrandingsgassen,... Deze methode is tevens veel beter geschikt voor het gebruik van meerdere brandstoffen in dezelfde motor i.p.v. het voortdurend bijregelen van de ontstekingsvertraging voor elke brandstof.



**Figuur 8:** Schematische voorstelling van RGR (Exhaust Gas Recirculation)  
(Scheerlinck P., 2007)

- *Aanpassingen aan motor*  
Men kan gebruikmaken van een motor met indirecte injectie. Dit type motor is voorzien van een voorverbrandingskamer of wervelkamer. De gemiddelde temperatuur van een voorkamer ligt tussen 500 en 600°C. Op volgende figuur ziet men een doorsnede van indirecte injectie met een wervelkamer.



**Figuur 9:** Indirecte injectie met wervelkamer (Scheerlinck P., 2007)

Om de verhoogde temperatuur op het einde van de compressieslag te behouden, maakt men meestal ook gebruik van een zuiger die gemaakt is uit een speciaal materiaal, nl. 'ferrotherm'. Dit speciaal materiaal laat toe om een voldoende hoge temperatuur te bewaren om een optimale verbranding te garanderen. Door dit speciale materiaal te gebruiken voor de zuiger is het dus mogelijk om te kunnen weerstaan aan de hoge temperaturen die bekomen worden bij de verbranding van hernieuwbare brandstoffen met een hoger vlamptpunt in vergelijking met traditionele diesel. Dit type zuiger kan zonder enig probleem geplaatst worden in dieselmotor met indirecte injectie zonder iets anders te moeten veranderen.

#### b) Brandstof/luchtverhouding

Door het gebruik van hernieuwbare brandstoffen kan de brandstof/lucht-verhouding wijzigen, daar deze brandstoffen niet altijd dezelfde energetische waarde hebben. Dit heeft een negatieve impact op het verbrandingsproces. Om dit te voorkomen wordt binnen bepaalde bandbreedtes de branderregeling automatisch gecorrigeerd, zodat de verbranding altijd optimaal is.

Om het rendement te verbeteren wordt een elektronische brandstof/lucht-verhoudingsregelaar in combinatie met een zuurstof-correctieregeling voorzien. Afhankelijk van het restgehalte van de zuurstof in de rookgassen wordt de luchthoeveelheid bijgesteld.

### ***b. Elsbettmotor***

De Elsbett motor is speciaal ontwikkeld voor het succesvol gebruik van plantaardige oliën. Enkele onderdelen van de klassieke dieselmotor werden hiervoor aangepast, namelijk de zuiger, de koeling, het inspuitsysteem en het verbrandingssysteem. In bijlage 4 TF 16, wordt dit uitgebreid besproken.

### ***c. Scheepsmotor***

Een scheepsmotor is een robuuste dieselmotor, ontworpen voor het gebruik van zware stookolie. Dit soort van motoren genereert weliswaar meer emissies (o.a. ca. 20% meer NO<sub>x</sub>-emissies) in vergelijking met dieselmotoren op gewone diesel. Dit is o.a. een gevolg van de hogere temperaturen en drukken op het einde van de compressie bij scheepsmotoren t.g.v. het hogere vlampunt van zware stookolie t.o.v. huisbrandolie.

Deze scheepsmotoren blijken ook zonder probleem inzetbaar voor het verbranden van biofuels voor opwekking van energie (Wärtsilä, ABC).

#### **3.3.2.2. Stookinstallatie**

Een stookinstallatie in zijn eenvoudigste vorm bestaat uit een verbrandingsruimte waarin warmte wordt opgewekt die door straling en convectie weer aan de omgeving wordt afgedragen (zie bijlage 4 TF 20).

In een stookinstallatie die met vloeibare hernieuwbare brandstof werkt, wordt deze brandstof (door middel van stoom, perslucht, middelpuntvliedende kracht, enz.) in de verbrandingskamer zo fijn mogelijk verdeeld en zo goed mogelijk vermengd met de voor de verbranding noodzakelijke lucht. Hiermee probeert men een zo volledig mogelijke verbranding te bereiken. Bij opstart wordt de brandstof ontstoken, vervolgens zorgt de ontstane warmte voor de nodige ontstekingsenergie voor de verdere verbranding van de toegevoegde brandstof.

Voor stookinstallaties gelden gelijkaardige randvoorwaarden voor optimale verbranding van de vloeibare brandstoffen als bij motoren. Eveneens als bij motoren is het van belang de vloeibare brandstof alsdusdanig te filteren en te zuiveren dat de eigenschappen deze van de conventionele fossiele brandstoffen benaderen. Voor stookinstallaties zijn deze vereiste eigenschappen minder streng in vergelijking met deze voor motoren. De vorming van emissies verloopt gelijkaardig als bij gebruik van conventionele brandstoffen. Dit wordt verder besproken in § 3.7.1.

## **3.4. Gasvormige hernieuwbare brandstoffen** (BTGworld, Cogen BV, [www.energieprojecten.nl](http://www.energieprojecten.nl), Cogen Vlaanderen, [www.energietech.info](http://www.energietech.info))

### **3.4.1. Algemeen**

Er kunnen drie grote groepen gasvormige hernieuwbare brandstoffen worden onderscheiden afhankelijk van hun herkomst:

- Biogas
- Stortgas
- Synthesegas

*Biogas* wordt geproduceerd door het anaeroob vergisten van organische fracties. In principe komt nagenoeg alle organisch biologisch materiaal in aanmerking om te vergisten. Zowel mate-

riaal uit de landbouw (mest, energiegewassen en oogstresten), industrie (agro- en voedingindustrie, waterzuivering) als intergemeentelijk afval (restafval, GFT, bermmaaisel) komen in aanmerking om te vergisten. De opbrengst aan biogas is afhankelijk van de hoeveelheid organische stof en de samenstelling.

*Stortgas* wordt gevormd op stortplaatsen waar afval met een zeker gehalte aan organisch materiaal wordt gestort. In Vlaanderen wordt stortgas geïncubéerd en benut op categorie II stortplaatsen. Het stortgas wordt door een buizenstelsel met gasbronnen onttrokken aan de stortplaats.

Hernieuwbaar *synthesegas* (ook wel *productgas*) wordt geproduceerd door het vergassen van organisch materiaal. Dit thermische proces verloopt bij een beperkte hoeveelheid zuurstof. De vergassing kan worden uitgevoerd met lucht, zuivere zuurstof of stoom als medium.

#### 3.4.1.1. Calorische waarde

De calorische waarde van biogas en stortgas wordt hoofdzakelijk bepaald door het methaangehalte ( $\text{CH}_4$ ). Biogas bevat typisch 60-65%  $\text{CH}_4$ , maar dit gehalte kan variëren van 45 tot 70%. De calorische waarde van biogas ligt typisch tussen 21,5 en 23,5  $\text{MJ/m}^3$ . Het methaangehalte ( $\text{CH}_4$ ) van stortgas kan variëren van 40-60%, afhankelijk van de leeftijd van de stortplaats. De calorische waarde van stortgas bevindt zich tussen 14 en 22  $\text{MJ/m}^3$ . Bij synthesegas wordt de calorische waarde voornamelijk bepaald door het gehalte CO en H, en in mindere mate door  $\text{CH}_4$ . Bovendien speelt het medium dat wordt gebruikt bij de vergassing een belangrijke rol. Wanneer lucht als medium wordt gebruikt bevat het gas een aanzienlijke hoeveelheid inert stikstof ( $\text{N}_2$ ). Hierdoor ligt de stookwaarde van dit gas lager (3,8-5,6  $\text{MJ/m}^3$ ) dan wanneer zuurstof of stoom gebruikt wordt (8,1-11  $\text{MJ/m}^3$ ).

In onderstaande tabel worden typische samenstellingen van de ruwe hernieuwbare gasen weergegeven.

**Tabel 53:** Overzicht samenstelling ruwe hernieuwbare gasen (BTG, Biogas-e)

%	biogas		stortgas		Synthesegas			
					lucht		stoom/zuurstof	
	min	max	min	max	min	max	min	max
CO					18	20	22	25
H <sub>2</sub>					15	20	38	45
CO <sub>2</sub>	30	45	30	45	18	20	20	23
N <sub>2</sub>	< 10		< 6		40	50	2	3
CH <sub>4</sub>	60	65	40	60	1	4	5	10
O <sub>2</sub>	< 2		< 0,2					

#### 3.4.1.2. Verontreinigingen

De belangrijkste verontreinigingen die aanwezig kunnen zijn in hernieuwbare gasen zijn H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, stof, water, halogenen, siloxanen (biogas) en teer (synthesegas). Deze pollutanten kunnen verontreinigingen bevatten die enerzijds schadelijk kunnen zijn voor de verbrandingsinstallatie, zoals teer, stof, siloxanen en water. Teer, stof en siloxanen kunnen zich afzetten in de installatie en zo schade veroorzaken. Anderzijds kunnen deze verontreinigingen ongewenste emissies veroorzaken zoals NH<sub>3</sub>, halogenen of H<sub>2</sub>S. H<sub>2</sub>S kan tijdens de verbranding worden omgezet in zwavelzuur, wat corrosief is voor de installatie.



In onderstaande tabel worden richtwaarden gegeven van mogelijke verontreinigingen in de verschillende typen gas.

**Tabel 54:** Gemiddelde aanwezigheid van verontreinigingen in hernieuwbare gassen

%	biogas		stortgas		Synthesegas			
	min	max	min	max	lucht		stoom/zuurstof	
					min	max	min	max
H <sub>2</sub> S	0,6		0,01		0,001	0,01	0,004	0,007
NH <sub>3</sub>					0,01	0,1	0,1	0,2
teer (g/m <sup>3</sup> )					0,1	2	1	5
stof (g/m <sup>3</sup> )					0,1	1	5	10

### 3.4.1.3. Methaangetal

Het methaangetal van een brandstof geeft de klopvastheid van een brandstof weer. Hoe hoger het methaangetal is, des te klopvaster is de brandstof en des te hoger is de druk waarbij het mengsel spontaan ontbrandt. Methaan dient hierbij als referentie. Waterstof ligt onderaan de schaal met een methaangetal van 0. Biogas en stortgas zijn mengsels van methaan en CO<sub>2</sub>. De CO<sub>2</sub> werkt vertragend op de verbranding, waardoor deze gassen een hoog methaangetal hebben, hoger dan dat van zuiver methaan. Synthesegas daarentegen bevat slechts weinig methaan, en veel H<sub>2</sub> waardoor het een laag methaangetal heeft. Hierdoor kan het gas niet tot hoge drukken gecompriemd worden wegens de kans op vroegtijdige ontbranding tijdens compressie.

### 3.4.2. Verbranding

Voor het verbranden van gasvormige hernieuwbare brandstoffen kunnen gelijkaardige technologieën als voor andere gasvormige brandstoffen worden gebruikt.

In principe kunnen volgende verbrandingstechnologieën toegepast worden:

- gasmotor;
- gasturbines;
- stookketels.

In onderstaande paragrafen wordt enkel dieper ingegaan op de toepasbaarheid van elk van de technologieën. Voor een uitgebreide technische beschrijving wordt verwezen naar de technische fiches.

Om een efficiënte verbranding mogelijk te maken moet het biogas een onderste verbrandingswaarde van > 5 MJ/Nm<sup>3</sup> hebben.

De verschillende hernieuwbare gassen kunnen (hoge) concentraties verontreinigingen bevatten. Deze componenten hebben een negatieve invloed op de installatie, m.n. corrosie en afzettingen (zie § 3.1.1.2). Om dit te vermijden vindt er een reiniging plaats. Deze systemen vormen (meestal) een volledig gesloten systeem bestaande uit cyclonen en/of wassers, en behoren niet tot het onderwerp van deze studie.

Voor een storingsvrij bedrijf van de gasmotor of gasturbine dienen de brandstoffen te voldoen aan bepaalde karakteristieken. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de kwaliteitseisen voor gasvormige hernieuwbare brandstoffen.

**Tabel 55:** Eisen aan gasvormige hernieuwbare brandstoffen voor gebruik in gasmotoren en -turbines (BTG en Pro 2)

Component	gasmotor	(micro)turbine
H <sub>2</sub> S	< 1000 ppm	< 6000 ppm
Cl	<100 mg/m <sup>3</sup> 100% CH <sub>4</sub>	*
F	< 50 mg/m <sup>3</sup> 100% CH <sub>4</sub>	*
NH <sub>3</sub>	< 3 mg/m <sup>3</sup>	< 3 mg/m <sup>3</sup>
Teer	< 500-2000 mg/m <sup>3</sup>	*
Stof	< 5-< 50 mg/m <sup>2</sup>	*

\* turbines zijn gevoelig voor Cl, F, teer en stof, maar er werden geen specifieke eisen teruggevonden voor maximale gehalten voor deze elementen

#### 3.4.2.1. Gasmotor

Gasvormige hernieuwbare brandstoffen kunnen aangewend worden in een gasmotor. Dit is een gekende technologie die in verschillende vermogensgroottes op de markt te vinden is. Gebruik in gasmotoren vereist een stof en teervrij biogas om teercondensatie en aanslag te voorkomen, typisch tot 2 g teer/Nm<sup>3</sup> en slechts enkele vol % benzeen en toluen mag aanwezig zijn in het gas. Eventueel kan een dual-fuel motor gebruikt worden. Voor meer informatie over de werking van een gasmotor, zie bijlage 4 TF 17.

#### 3.4.2.2. Gasturbine

Bij gasturbine-toepassingen wordt een gastoevoer onder hoge druk vereist. Hiervoor dient het biogas ofwel door hogedrukvergassing te worden geproduceerd of dient er een voorafgaande compressie van het biogas te gebeuren. Om compressie tot 10-40 bar toe te laten dient het gas volledig gereinigd te zijn, wat deze optie minder aantrekkelijk maakt.

Een alternatief voor de traditionele gasturbine is de microturbine. Microturbines werken bij een grote luchtvermaat, wat hen flexibeler maakt op gebied van brandstofsamenstellingen. Ze kunnen verschillende brandstoffen aan, en ook schommelingen in de calorische waarde van de brandstof stellen geen probleem. Mede hierdoor zijn ze dan ook uitstekend voor de verbranding van bijvoorbeeld laagcalorisch biogas.

Voor meer informatie over de werking van een gasturbines, zie bijlage 4 TF 19.

#### 3.4.2.3. Stookinstallatie

Het verbranden van gasvormige hernieuwbare brandstoffen is de eenvoudigste toepassingsmogelijkheid. De verbranding kan gebeuren in bestaande verbrandingssystemen. In vergelijking met bovenstaande systemen worden er lagere eisen gesteld aan de brandstof.

Bij gebruik in stookketels wordt meestal gewerkt met getrapte verbrandingslucht (zie ook hoofdstuk 4). Hierbij wordt bij de brandermond een reducerend milieu gecreëerd waardoor NO<sub>x</sub> vorming wordt tegengegaan. Dit is vooral van belang bij het verstoken van gas met veel NH<sub>3</sub>, wat zonder nadere maatregelen tot een hoge NO<sub>x</sub> uitstoot zou leiden.

### 3.5. Warmteproductie, elektriciteitsproductie en WKK.

(Vanderstraeten, P. en Devriendt, N., 2003; BTG, 2005; S. Van Loo en J. Koppejan; 2007; <http://www.cogenvlaanderen.be/>)

#### 3.5.1. Warmteproductie in ketelsystemen

##### 3.5.1.1. *Vlampijpketel*

Bij vlampijpketels bevinden de rookgassen zich in de pijpen. Rond de pijpen bevindt zich het water en de stoom. Deze ketels hebben een relatief grote waterinhoud en hebben hierdoor een grote buffercapaciteit. Vandaar dat deze ketels beter in staat zijn om fluctuaties in stoomvraag op te vangen.

Vlampijpketels worden meestal toegepast voor het produceren van lage- en middendrukstoom van 1-20 bar met vermogens van 0,3-10 MW. Deze stoom wordt meestal gebruikt als processtoom.

##### 3.5.1.2. *Waterpijpketel*

In een waterpijpketel bevinden de rookgassen zich rond de pijpen. In de pijpen zit het water en stoom. Dit type ketel zijn het meest geschikt voor een constante stoomvraag. Wanneer ze worden gebruikt voor toepassingen met fluctuerende stoomvraag worden ze vaak uitgerust met een extra stoomvat als buffer.

Waterpijpketels worden vaak gebruikt voor de productie van hogedrukstoom (50-300 bar) met vermogens van 10-1500 MW.

##### 3.5.1.3. *Thermische olieketels*

Bij deze ketels wordt thermische olie opgewarmd in plaats van water. Deze ketels worden in bepaalde toepassingen gebruikt voor de overdracht van warmte.

#### 3.5.2. Elektriciteitsproductie

Electriciteitsproductie door verbranding kan ingedeeld worden in gesloten thermische cycli en open processen.

In de gesloten thermische cycli, met de stoomturbine als één van de belangrijkste toepassingen, zijn de verbrandingsprocessen en de stroomgeneratie fysisch van elkaar afgesloten. Hierbij wordt de warmte van het hete verbrandingsgas via een warmtewisselaar afgestaan aan het procesmedium in een tweede cyclus. Dankzij deze scheiding staat de stoomturbine/motor enkel in contact met een schoon procesmedium en kunnen ongewenste elementen in de brandstof en vliegassen de stoomturbine/motor niet beschadigen. Vandaar dat deze gesloten cycli zeer geschikt zijn voor vaste brandstoffen en is deze techniek zeer sterk verspreid in de elektriciteitsopwekking uit kolen, hernieuwbare brandstof en huishoudelijk afval.

Open cycli worden vaak toegepast voor gasvormige en vloeibare brandstoffen gebruikt in interne verbrandingsmotoren en gasturbines. De brandstof kan direct verbrand worden in een interne verbrandingsmotor, welke als een viertakt of tweetakt motor worden bedreven. Anderzijds kan de brandstof continu worden verbrand in een externe verbrandingskamer en dan door een open gasturbine worden geleid voor expansie. Het gebruik van vaste brandstoffen in een

interne verbrandingsmotor is technisch niet mogelijk. Ook de toepassing in een gasturbine wordt nog als te complex beschouwd voor praktisch gebruik.

Als alternatief voor het direct gebruik van vaste hernieuwbare brandstof in een open gasturbine, wordt het gebruik van productgas uit hernieuwbare brandstofvergasning als veelbelovend beschouwd voor beide open processen; m.n. interne verbrandingsmotoren en gasturbines. Elektriciteitsproductie uit hernieuwbare brandstof door vergassing wordt alom onderzocht.

### 3.5.2.1. *Gesloten thermische cycli voor elektriciteitsproductie*

Daar hernieuwbare brandstoffen en hun resulterende rookgassen elementen bevatten zoals vlieg-asdeeltjes, metalen en chloorcomponenten die motoren beschadigen, zijn de huidige technologieën die ingezet worden voor elektriciteitsproductie gebaseerd op de gesloten thermische cycli. De gebruikte processen en motoren zijn:

- *Stoomturbines en stoommotoren*: gebruikt als expansie-eenheden in de Rankine cyclus. In deze cyclus wordt in een stoomketel oververhitte stoom (dat wil zeggen verwarmd tot een temperatuur boven het kookpunt bij die druk) onder hoge druk geproduceerd. Deze stoom expandeert vervolgens in een stoomturbine die een generator aandrijft. Daarna wordt de stoom gecondenseerd in een water- of luchtgekoelde condensor en wordt het condensaat teruggepompt naar de stoomketel. Bij deze water-stoomcyclus is het belangrijk om de stoom te oververhitten om de vorming van condensaatdruppels in de stoomturbine te vermijden.
- In een *Organic Rankine Cycle (ORC)* maakt men gebruik van een organisch medium, dat verdampt en condenseert bij een lagere temperatuur dan water. Sommige organische stoffen hebben zulke fysische eigenschappen dat oververhitting niet nodig is. Dat fenomeen is te danken aan het feit dat deze stoffen bij het expanderen in het superkritische gebied blijven. In dit gebied kan een stof niet in vloeistofvorm bestaan. Ten slotte is bij organische stoffen de verdampingswarmte minder hoog dan bij water (vanwege het ontbreken van waterstofbruggen) en is een groter aandeel van de warmte benutbaar voor opwarming van de vloeistof. Dat is een interessante eigenschap als het om benutting van restwarmte gaat.
- *Stirling motoren* (indirect gestookte gasmotoren welke gebruik maken van de Stirling cyclus) welke gedreven worden door een warmteoverdracht van de rookgassen naar een gasvormig medium zoals lucht, helium of waterstof.
- *Gesloten gasturbines* welke gebruikmaken van een gesloten cyclus met lucht, helium of waterstof dat wordt samengedrukt, verwarmd en vervolgens expandeert om een turbine aan te drijven.
- *Gesloten gasturbines* welke gebruikmaken van een warmteoverdracht naar gecompenseerde lucht, deze wordt geëxpandeerd over een gasturbine en wordt vervolgens gevoed aan de boiler als verbrandingslucht (de thermodynamische cyclus correspondeert met een gesloten gasturbine, hoewel de massastroom door de gasturbine niet fysisch gesloten is).

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de cycli gebruikt voor elektriciteitsopwekking uit hernieuwbare brandstof. De verschillende technologieën dekken een brede capaciteitsrange van enkele kWe (Stirling motoren) tot enkele honderden MWe (stoomturbines en gasturbines).

**Tabel 56:** Gesloten processen voor elektriciteitsopwekking uit hernieuwbare brandstoffen

Procesmedium	Motortype	Typisch vermogen	Status
Vloeibare en gas-fase (met faseverandering)	Stoomturbine	500 kWe-500 MWe	Bewezen technologie
	Stoomzuigermotor	25 kWe-1,5 MWe	Bewezen technologie
	Stoomturbine met ORC	400 kWe-1,5 MWe	Enkele commerciële installaties
Gas (zonder faseverandering)	Gesloten gasturbine (hete lucht turbine)	Nog niet in gebruik, waarschijnlijk zelfde grootte als stoomturbine	Concept en ontwikkeling
	Stirling motor	1 kWe-100 kWe	Ontwikkeling en pilotschaal

In Bijlage 4 TF 21 wordt een uitgebreidere beschrijving gegeven van bovenstaande processen.

### 3.5.3. Warmtekrachtkoppeling (WKK)

Warmtekrachtkoppeling (afgekort WKK) is de gecombineerde, gelijktijdige productie van warmte en elektriciteit. Hierbij worden warmte en elektriciteit in eenzelfde installatie opgewekt. Gezien warmte moeilijk te transporteren is, bevindt deze installatie zich dicht bij de warmteverbruiker. De hoogwaardige warmte die vrijkomt bij het verbranden van de brandstof wordt eerst gebruikt voor het produceren van mechanische energie, welke vervolgens via een alternator wordt omgezet in elektriciteit. Hierna blijft de laagwaardige restwarmte over. Deze wordt dan gebruikt om te voldoen aan de specifieke warmtevraag van een bedrijf (ziekenhuis, tuinbouwbedrijf, ...).

Het grote voordeel aan warmtekrachtkoppeling is dat bij een gezamenlijke opwekking van warmte en elektriciteit de in de brandstof aanwezige energie beter wordt benut. Hierdoor is bij cogeneratie beduidend minder brandstof nodig dan bij een gescheiden productie van eenzelfde hoeveelheid warmte en elektriciteit. Minder brandstofverbruik houdt bovendien ook in dat de CO<sub>2</sub>-uitstoot en de uitstoot van andere schadelijke stoffen (roet, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, ...) in belangrijke mate gereduceerd wordt. Het nadeel van een WKK installatie is dat er een permanente en vrij constante afname van warmte van een voldoende capaciteit noodzakelijk is.

Wanneer men over een WKK op hernieuwbare brandstoffen spreekt, denkt men bijna automatisch aan biogas. Maar warmtekrachtinstallaties werken niet enkel op biogas, maar ook op vloeibare en vaste hernieuwbare brandstoffen.

Vaste brandstoffen worden doorgaans direct verbrand, en worden daarom eerder gebruikt voor warmteproductie. Met behulp van stoomturbines kan echter ook aan elektriciteitsproductie en aan warmtekoppeling gedaan worden (zie § 3.5.1). Zoals reeds aangegeven wordt de hoogwaardige warmte die vrijkomt bij verbranding van de hernieuwbare brandstof omgezet in stoom, en deze stoom wordt geëxpandeerd over een turbine. Hierdoor krijgt de turbine een draaiende beweging, die via een alternator in elektriciteit wordt omgezet. Om de kunnen spreken van WKK dient de stoom na het verlaten van de turbine nog nuttig gebruikt te worden om een warmtevraag in te vullen (tegendrukstoomturbine). Anderzijds kan een deel van de stoom ook afgetapt te worden uit de turbine om eveneens nuttig aangewend te worden, terwijl de rest van de stoom enkel voor elektriciteitsopwekking wordt gebruikt (aftapcondensatiestoomturbine).

Bij vloeibare hernieuwbare brandstoffen denken we in eerste instantie aan de bio-olie en biodiesel welke rechtstreeks gebruikt worden in licht omgebouwde dieselmotoren.

### 3.5.4. Verbetering van elektrische rendementen (J.Coenen, S.Schlatmann, mei 2007)

De huidige stoomcondities liggen bij circa 28 bar en 380 tot 460°C. Hiermee zijn rendementen haalbaar van 15 tot 20%.

Vanaf 5 MWe en groter worden waterpijpketels toegepast, waarbij hogere drukken en temperaturen mogelijk zijn tot 42 à 65 bar en tot 500°C. Het rendement stijgt dan tot 25%. Bij nog grotere systemen (~30 MWe) wordt soms ook herverhitting van de stoom toegepast waarbij het elektrische rendement verder stijgt naar 37% (hoogste op dit moment).

Herverhitten van de stoom en hogere stoomcondities zullen voor kleine hernieuwbare brandstofsyste­men (< 5 MWe) niet snel worden toegepast vanwege de relatief grote investeringen.

Een andere rendementsverbetering die speelt bij het groter worden van systemen is de toename van het stoomturbinerendement. Voor systemen kleiner dan 5 MWe is de verwachting dat door vele kleine technische verbeteringen een rendement op termijn mogelijk is van 23%.

Naast verbeteringen in de verbrandingsinstallatie kan ook nog een Organic Rankine Cycle (ORC) worden toegepast. Hierdoor kan een gedeelte van de (laagwaardige)warmte worden omgezet in elektriciteit. Een ORC cycle achter een 1 MWe houtverbrandingsinstallatie bijvoorbeeld, geeft een hoger elektrisch rendement (plus 5%), maar gaat ten koste van het thermische rendement.

Het toepassen van een Organic Rankine Cycle (ORC) achter een 1 MWe dieselmotor levert een rendementsverbetering op. Een elektrisch rendement van 45 à 46% is mogelijk. Economisch gezien wordt het toepassen van een ORC cyclus interessant vanaf ongeveer 2 MWe en bij een lage benutbaarheid/economische waarde van de restwarmte.

Gecombineerde systemen van dieselmotor met nageschakelde stoomcycli vanaf 4 à 5 MWe doen het rendement toenemen tot circa 45%. Bij 20 MWe systemen wordt dit 47 à 48%. Bij nog grotere systemen (80 MWe) is 50% haalbaar. Economisch gezien zijn deze systemen interessant vanaf circa 10 MWe.

Door de rookgassen verder te koelen door middel van een condensor kan nog lagere temperatuurwarmte gewonnen worden voor gebruik in een laag-temperatuurnet, zoals bijvoorbeeld in de tuinbouwkassen. Het rendement kan dan toenemen van 40% naar circa 50 à 55%.

## 3.6. Co-verbranding

De groeiende belangstelling naar de milieu-impact van elektriciteitsopwekking uit fossiele brandstoffen heeft geleid tot onderzoek naar nieuwe en milieuvriendelijke manieren om stroom te genereren. Een manier om deze milieu-impact te beperken is de fractie aan hernieuwbare brandstoffen in het geheel van energiebronnen te laten toenemen. Hernieuwbare brandstoffen kunnen maar moeilijk opboksen tegen de fossiele brandstoffen, omwille van hun lage efficiënties, hoge kosten en technische risico's.

Co-verbranding van vaste hernieuwbare brandstoffen met kolen in conventionele kolencentrales vertegenwoordigt één van de mogelijke combinaties van hernieuwbare met fossiele energiebronnen, welk reeds de meeste is toegepast. Combinaties van vloeibare hernieuwbare brandstoffen in gasgestookte en kolengestookte installaties zijn ook mogelijk.

Co-verbranding profiteert van de grote investeringen en infrastructuur geassocieerd met bestaande centrales op fossiele brandstoffen. Het mengen van een fractie hernieuwbare brand-

stof in de brandstof vereist een relatief beperkte investering. Wanneer goede keuzes gemaakt worden naar gebruikte hernieuwbare brandstof, ketelontwerp en werking, nemen de gasvormige pollutanten (SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, etc.) en netto broeikasgassen (CO<sub>2</sub>) af.

Over het algemeen wordt de voorkeur gegeven aan co-verbranding in grote elektriciteitscentrales in tegenstelling tot pure hernieuwbare brandstof installaties daar deze grote installaties zich beter kunnen aanpassen om het thermisch en elektrisch rendement te verbeteren. Aldus kan co-verbranding in grote thermisch elektriciteitscentrales leiden tot een globale besparing op brandstoffen in vergelijking met onafhankelijke fossiele en hernieuwbare brandstof installaties.

In onderstaande paragrafen wordt co-verbranding verder besproken, waarbij de nadruk zal liggen op aspecten die gerelateerd zijn aan het co-verbranden in poederkoolinstallaties daar deze systemen het meest worden toegepast.

### 3.6.1. Basisconcepten co-verbranding

De term 'co-verbranding' refereert in het algemeen naar het gelijktijdig verbranden van twee verschillende brandstoffen.

De mogelijke technologieën zijn:

- directe co-verbranding: de voorbewerkte hernieuwbare brandstof wordt rechtstreeks in de oven gebruikt;
- indirecte co-verbranding: de hernieuwbare brandstof wordt na vergassing, als gas, in de installatie gebruikt;
- parallelle verbranding: de verbranding van de hernieuwbare brandstof gebeurt in een afzonderlijke ketel.

### 3.6.2. Direct co-verbranden

Het direct co-verbranden kan op vier verschillende manieren gerealiseerd worden:

- De eerste optie is het mengen van de hernieuwbare brandstof met de kolen stroomopwaarts van de koleninjectie. Deze optie geeft een optimale menging. De gemengde brandstof wordt naar de kolenmolens gestuurd en verdeeld over de kolenbranders. Dit is de makkelijkste manier en houdt de minste kosten in. Deze optie houdt echter wel het hoogste risico voor interferentie met de capaciteit van de kolenmolens. Deze manier van coverbranden is daarvoor enkel toepasbaar voor het beperkte selectie van hernieuwbare brandstoffen en bij zeer lage hernieuwbare brandstof/kolen verhouding.
- De tweede optie impliceert het apart voorbereiden en injecteren van de hernieuwbare brandstof in de branders. Deze optie vereist dan ook bijkomende specifieke maalcapaciteit.
- Een derde optie houdt in dat de hernieuwbare brandstoffen niet alleen apart wordt voorbereid maar ook in aparte branders wordt verbrand.
- Een laatste optie is het gebruik van hernieuwbare brandstoffen als reburn-brandstof voor NO<sub>x</sub> emissiereductie. Deze optie is nog in ontwikkeling.

### 3.6.3. Indirect co-verbranden

Het indirect co-verbranden is gebaseerd op de vergassing van de hernieuwbare brandstof en de verbranding van het geproduceerde gas in de installatie. Het hoofdproduct uit het vergassings-

proces is een laagcalorische brandstof. De calorische waarde hangt af van het vochtgehalte van de brandstof. Andere producten die worden gevormd zijn:

- brandstof-as materialen, met zeer kleine hoeveelheden metalen en alkalimetalen;
- teer en andere gecondenseerde organische componenten;
- Cl, N en S

De verbranding van dit type van gas in een kolengestookte installatie kan als een mature techniek aanzien worden.

In termen van aard en kostprijs van de nodige uitrusting voor het indirect co-verbranden, is dit voor poederkoolinstallaties te vergelijken met de vervanging van kolenmolens voor het verpoederen door een vergasser. De vergasser wordt hierbij aanzien als een soort voorbereidingsstap van de hernieuwbare brandstof. Vergassing is momenteel enkel operationeel voor hout.

#### **3.6.4. Parallele verbranding**

Het concept van parallelle verbranding impliceert een volledig gescheiden verbrandingsinstallatie voor de hernieuwbare brandstof. De geproduceerde stoom uit beide installaties wordt vervolgens samengebracht in één stoomturbine (wat moeilijkheden kan geven naar stoomkarakterisatie). Hoewel indirecte en parallelle co-verbranding veel duurdere investeringen met zich meebrengt, zijn deze concepten toch te rechtvaardigen omwille van o.m. de inzetmogelijkheden van moeilijkere hernieuwbare brandstoffen met hoge alkali en chloorgehalten en de scheiding van de assen.

#### **3.6.5. Operationele ervaringen en technische risico's**

Over de laatste 5-10 jaar is er een noemenswaardige ontwikkeling geweest van het co-verbranden van hernieuwbare brandstof in elektriciteitscentrales. Typische elektriciteitscentrales waar co-verbranding wordt toegepast liggen in de range van ca 50 MWe (enkele installaties liggen tussen 5 en 50 MWe) tot 700 MWe. De meerderheid van deze installaties zijn poederkoolcentrales, hoewel ook enkele wervelbedinstallaties worden gebruikt. Een andere toepassing is het co-verbranden van hernieuwbare brandstoffen in cementovens, welke het meest interessant is voor afvalhout.

Er werden reeds alle soorten van vaste brandstoffen gebruikt bij co-verbranding, zoals bruinkool, (sub)-bitumineuze kolen, antraciet en petroleum cokes. Deze brandstoffen worden verbrand met een brede waaier aan hernieuwbare brandstoffen zoals plantachtige en houtachtige materialen, natte en droge landbouwresten en energieteelten.

De technologieën moeten geschikt zijn voor bestaande centrales en een minimaal risico inhouden voor de normale werking van de installatie. Het is duidelijk dat de mogelijkheid van co-verbranding geval per geval zal onderzocht worden om alle technische risico's en geassocieerde kosten te identificeren.

De mogelijke technische risico's zijn:

- brandstofproductie, -verwerking en -behandeling;
- verbrandingsgerelateerde problemen (vb. vlamstabiliteit, uitbrand, corrosie etc.) welke de werking en controle van de installatie beïnvloeden;
- asgerelateerde problemen (slakvorming, verstopping, corrosie, etc.);
- impact op emissiereductie technieken.



Belangrijke aandachtspunten zijn de asgerelateerde problemen en de impact op de emissiereducerende technieken. Deze worden in onderstaande paragrafen verder uitgewerkt.

### 3.6.5.1. *Asgerelateerde problemen*

Eén van de problemen is afzetting van  $\text{CaSO}_4$  op de pijpen in de ketels bij het gebruik van hernieuwbare brandstoffen met hoog asgehalte, vb. gedroogd waterzuiveringslib.

Het co-verbranden van hernieuwbare brandstoffen heeft ook invloed op de kwaliteit van de vliegassen. Vliegassen kunnen nuttig hergebruikt worden in de cement- en betoncentrales als deze aan specifieke eisen voldoen (Europese standaard EN 197 voor cement en EN450 voor beton). Het gebruik van vliegassen welke niet aan deze standaard voldoet is zeer beperkt. Meestal dienen deze vliegassen te worden gestort. Dit is niet wenselijk omwille van het negatieve milieu- en kostenplaatje.

### 3.6.5.2. *Impact op de efficiëntie van deNOx, deSOx en ontstoftingsinstallaties*

De meeste grote kolengestookte installaties hebben NOx reducerende maatregelen geïmplementeerd. Deze zijn onder te verdelen in 4 categorieën:

- lage NOx branders;
- geavanceerde primaire NOx reductietechnieken, zoals getrapte verbranding en gas of kolen reburn technologieën
- selectieve niet-katalytische reductie (SNCR);
- selectieve katalytische reductie (SCR).

Het co-verbranden van hernieuwbare brandstof zal waarschijnlijk een matige tot geen impact hebben op de efficiëntie van lage NOx kolen branders, op voorwaarde dat de verbrandingsinstallatie voorzien is op het gebruik van hernieuwbare brandstof. Het enige significante risico is een toename van de as-depositie op de brander welke een invloed kan hebben op zijn werking. Dit hangt af van de specifieke situatie: o.a. verhouding hernieuwbare brandstof/fossiele brandstof, smeltgedrag van de assen van kolen en hernieuwbare brandstof. Over het algemeen geeft een werking met hernieuwbare brandstof/fossiele brandstofverhouding van minder dan 10% op warmte input basis geen significante problemen.

De geavanceerde primaire NOx technieken vereisen een exploitatie met een significant volume van de oven onder reducerende omstandigheden. Ervaringen in zowel nieuwe als vernieuwde installaties voorzien van deze technologie hebben aangetoond dat er een significant risico is op verhoogde slakvorming en -afzet en een versnelde corrosie van de ovenwand. Het co-verbranden zou deze problemen kunnen vergroten door de relatief lage smeltemperatuur van hernieuwbare brandstof-assen en de hoge chloorgehalten in de hernieuwbare brandstof.

Het co-verbranden zal waarschijnlijk geen significante impact hebben op de werking van SNCR systemen, maar zou wel een invloed kunnen hebben op de werking van de SCR installatie. De werking van de SCR is sterk afhankelijk van de activiteit van de katalysator. De SCR katalysatoren zijn gevoelig voor 'vergiftiging' veroorzaakt door de condensatie van vluchtige anorganische stoffen op het katalysatoroppervlak. Het co-verbranden van hernieuwbare brandstof zal over het algemeen leiden tot verhoogde concentraties van deze componenten, m.n. alkali metalen, in de rookgassen. Hierdoor zal de katalysator sneller vervangen moeten worden om te verzekeren dat de vereiste NOx emissies worden behaald. Dit doet natuurlijk de werkingskost van de SCR toenemen. Dit is momenteel dan ook één van de uitdagingen van de katalysatorleveranciers om een katalysatorsysteem te ontwikkelen dat minder gevoelig is voor deze 'vergiftiging'.

De conventionele manier om SO<sub>2</sub> emissies te reduceren bij grote installaties is het installeren van een natte kalksteenwassing. Zoals reeds aangegeven bevatten de meeste hernieuwbare brandstofstromen lage zwavelconcentraties. Hernieuwbare brandstof co-verbranding zal dan ook meestal resulteren in verlaagde SO<sub>2</sub>-concentraties in de rookgassen. De ontzwavelingsinstallatie zal daardoor minder kalksteen nodig hebben en minder gips produceren. Sommige hernieuwbare brandstofstromen hebben relatief hoge chloorgehalten en deze kunnen een effect hebben op het ontwerp en de werking van de ontzwavelingsinstallatie. HCl is zeer reactief met kalksteen en wordt zeer goed geabsorbeerd. Het zou dus nodig kunnen zijn om het ontwerp van de ontzwavelingsinstallatie en de afvalwaterzuiveringsinstallatie aan te passen aan de hoge chloorgehalten in het systeem.

Het co-verbranden van hernieuwbare brandstof met kolen zal over het algemeen leiden tot lagere vliegascenconcentraties omwille van het lager asgehalte van de hernieuwbare brandstof. De gemengde assen kunnen daarentegen wel significante hoeveelheden fijn stof bevatten die een probleem kunnen geven in de conventionele ontstoftingstechnieken. Wanneer elektrostatische precipitatie wordt gebruikt, kan dit leiden tot verhoogde stofemissies i.v. met enkel kolenstook. Als doekenfilters worden gebruikt kunnen deze fijne stofdeeltjes leiden tot verstopping van het systeem.

### 3.6.6. Impact op emissies

In deze paragraaf wordt aangegeven waar co-verbranding een effect heeft op de normaal te verwachten emissies bij het verbranden van fossiele brandstoffen. De aard en effecten van de verbrandingsemissies worden uitvoerig besproken onder § 3.7.

Omwille van het laag S-gehalte van hernieuwbare brandstoffen (typisch minder dan 0,5% op droge basis), zullen de SO<sub>2</sub> emissies dalen bij co-verbranding in vergelijking met het pure verbranden van steenkool. In sommige gevallen is co-verbranding zelfs toegepast met als doel de SO<sub>2</sub> emissies te verlagen tot het vergund emissieniveau zonder extra investering in rookgasreiniging

Het N gehalte in de meeste hernieuwbare brandstoffen ligt lager dan 1%, en meestal zelfs lager dan 0,5%, op droge basis. De NO<sub>x</sub> emissies worden dan ook verwacht lager te zijn.

Hernieuwbare brandstoffen brengen grotere hoeveelheden vluchtige stoffen met zich mee en kunnen zo grotere brandstofrijke zones vormen nabij de branders dan kolen. Hernieuwbare brandstoffen zouden hierdoor de efficiëntie van de lage NO<sub>x</sub> branders kunnen verhogen. Hernieuwbare brandstof kan aldus als reburn brandstof worden gebruikt om nog lagere NO<sub>x</sub> emissies te geven, maar dit dient nog verder bestudeerd en uitgetest te worden.

De beschikbare data omtrent stofemissies zijn ook tegenstrijdig. Sommige geven een scherpe afname van stofemissies en sommige tonen geen significant verschil.

CO<sub>2</sub> emissies van co-verbranding met hernieuwbare brandstof kunnen relatief gezien dalen in vergelijking met kolen. De netto CO<sub>2</sub> reductie wordt bekomen wanneer de hernieuwbare brandstof wordt geteeld met een snelheid die minstens gelijk is aan de snelheid van consumptie, niet als werkelijke reductie aan de schouw. Netto broeikasgasemissies worden verder gereduceerd wanneer resten (afval of resten van productie die anders zouden blijven liggen en rotten) worden gebruikt, daar co-verbranding de vorming van methaan en andere schadelijkere broeikasgassen afkomstig van het rottingsproces vermijdt (methaan heeft meer dan 20 maal meer impact dan CO<sub>2</sub>).

### 3.7. Milieuaspecten

In de volgende paragrafen wordt de milieu-impact van de emissies van de verbranding van hernieuwbare brandstof geanalyseerd. De milieu-impact van de luchtvervuiling afkomstig van verbrandingsinstallaties op hernieuwbare brandstoffen is verre van verwaarloosbaar.

Ten eerste wordt een gebruik van een hernieuwbare brandstof verondersteld CO<sub>2</sub>-neutraal te zijn. Dit is enkel waar indien het verbruik van fossiele brandstoffen in het oogsten, produceren en transporteren van de hernieuwbare brandstof niet wordt meegerekend.

Niet alle hernieuwbare brandstoffen hebben een even onmiskenbaar CO<sub>2</sub>-reductiepotentieel. Ook andere duurzaamheidsaspecten kunnen per brandstoftype variëren. De keuze voor een bepaald soort brandstof moet in de eerste plaats gebaseerd zijn op de mate waarin het kan bijdragen tot een vermindering van de uitstoot van broeikasgassen.

Het emissiereductiepotentieel is nauw verbonden aan de energie-opbrengsten en energie-efficiëntie van de gebruikte energieteelten. De productie van hernieuwbare brandstoffen vergt ook energie uit fossiele brandstoffen voor de teelt, grondbewerking, productie van meststoffen en pesticiden, verwerking en transport. Hierdoor is het broeikasgasreductiepotentieel vaak kleiner dan we op het eerste zicht zouden vermoeden. De energie-efficiëntie drukt uit hoeveel eenheden energie worden geproduceerd per eenheid door de mens ingebrachte energie. Een energetisch efficiënt proces heeft een waarde groter dan 1. Indien de energie-efficiëntie kleiner is dan 1, dan is er meer energie geïnvesteerd in het proces dan dat er geproduceerd wordt. Voor fossiele brandstoffen (benzine en diesel) is de energie-efficiëntie kleiner dan 1.

De volgende tabel geeft een overzicht van de energie-opbrengsten en -efficiënties voor enkele gewassen en conversietechnieken in de Vlaamse context. Hieruit blijkt de grote variatie.

Gewas/Techniek	Netto bruikbare energie-productie <sup>6</sup> (GJ ha <sup>-1</sup> )	Energie-efficiëntie (netto bruikbare energie / geïnvesteerde energie)
Wilg geoogst in stammen/Co-verbranding	137	6.38 – 6.64
Wilg geoogst in stammen/Verbranding	137	7.32 – 7.68
Wilg geoogst in stammen/Vergassing	128	6.94 – 7.28
Populier geoogst in stammen/Co-verbranding	124	6.35 – 6.63
Populier geoogst in stammen/Verbranding	124	7.28 – 7.67
Populier geoogst in stammen/Vergassing	116	6.89 – 7.26
Kuilmais/Anaërobe vergisting	103	2
Winterkoolzaad/Persen	21	2.42
Winterkoolzaad/Chemische extractie	28	2.32
Winterkoolzaad/Omestering	16	1.48 – 1.9
Suikerbiet/Alcoholische gisting	15	0.86 – 1.18
Wintertarwe/Alcoholische gisting	10	1.07 – 1.22
Aardappel/Alcoholische gisting	21	1.04 – 1.21

**Figuur 10:** Energie-opbrengsten en energie-efficiëntie voor enkele gewassen en conversietechnieken (Garcia C. et al., 2003)

De (co-)verbranding van korte-omloopteelten van wilg en populier leveren in de Vlaamse context het meest netto bruikbare energie op en hebben bovendien de hoogste energie-efficiëntie (Garcia C., 2003).

Uiteraard moet ook met andere milieueffecten rekening worden gehouden. De teelt van hernieuwbare brandstoffen gaat meestal gepaard met het gebruik van pesticiden en kunstmest met vaak ernstige gevolgen voor het milieu.

Over het algemeen liggen de SO<sub>x</sub>-emissieniveaus van verbrandingsinstallaties op hernieuwbare brandstoffen lager in vergelijking met steenkool- en olieverbranding. De verbranding van hernieuwbare brandstoffen blijkt echter hogere NO<sub>x</sub>-emissies te geven.

In de meeste gevallen kunnen de NO<sub>x</sub>-emissies aanzienlijk gereduceerd worden door gebruik van primaire maatregelen of inzet van secundaire reductietechnieken. Emissies van SO<sub>x</sub> kunnen gereduceerd worden door secundaire maatregelen, en in sommige gevallen door primaire maatregelen. Voor vele verbrandingsinstallaties op hernieuwbare brandstoffen zijn de emissiereductietechnieken zeer duur daar het hierbij vaak kleinere installaties betreft dan bij fossiele verbranding.

Hoe groter de installatie hoe kosteneffectiever de maatregelen worden. Hoewel de grootte van de installatie vaak van lokale beschikbaarheid van hernieuwbare brandstoffen afhangt. Deze aspecten worden besproken in hoofdstuk 4 en 5.

Tenslotte moet rekening gehouden worden met de globale ecologische, economische en sociale effecten die de productie en consumptie van hernieuwbare brandstoffen vanuit een duurzaamheidsoogpunt.

### **3.7.1. Emissies naar lucht: kwalitatief**

Bij het verbranden van hernieuwbare brandstoffen worden voornamelijk emissies naar lucht gevormd. Deze emissies worden bepaald door:

- De chemische samenstelling en de aard van de brandstof;
- De installatie (zowel ontwerp als eventuele rookgasreiniging);
- Het gebruik van de installatie.

Bij de verbranding van hernieuwbare brandstoffen moet rekening worden gehouden met enerzijds emissies die bepaald worden door de samenstelling van de brandstof en anderzijds door de verbranding zelf (door het concept van de installatie en de verbrandingsvoorwaarden).

De vorming van emissies bij verbranden in stookinstallaties (branders) verloopt anders dan bij het gebruik ervan in motoren. Bij motoren spelen, naast het type brandstof, de luchtvochtigheid en belasting ook de motorkarakteristieken een belangrijke rol. Hierbij zijn de (homogene) verbrandingstemperatuur en het ontwerp van de verbrandingskamer van belang. Dit maakt dat voornamelijk NO<sub>x</sub>-emissies bij motoren een pijnpunt vormen.

#### **3.7.1.1. CO<sub>2</sub>**

Bij de verbranding van hernieuwbare brandstoffen wordt CO<sub>2</sub> gevormd. Bij de verbranding van hernieuwbare brandstoffen draagt deze CO<sub>2</sub> emissie echter niet bij tot een toename van de hoeveelheid CO<sub>2</sub> in de atmosfeer wanneer er sprake is van een gesloten korte kringloop.

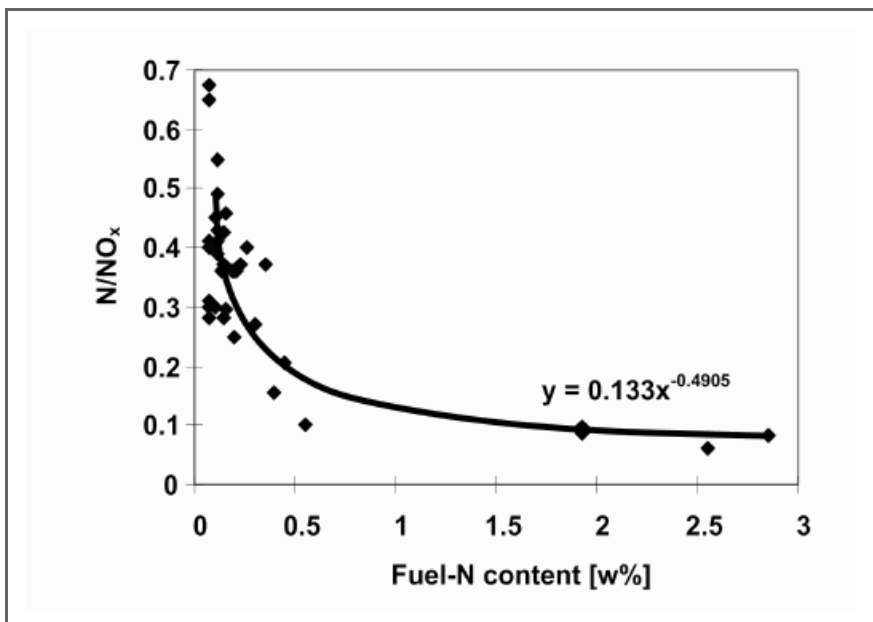
#### **3.7.1.2. NO<sub>x</sub>**

NO<sub>x</sub>-emissies afkomstig van de verbranding van hernieuwbare brandstof zijn voornamelijk het gevolg van de oxidatie van brandstofgebonden stikstof. De belangrijkste stikstofoxide die gevormd wordt is NO, die verder oxideert tot NO<sub>2</sub> in de atmosfeer.

De mogelijke gasfase reactiemechanismen voor NO<sub>x</sub>-vorming bij verbranding van hernieuwbare brandstoffen zijn:

- Brandstofgebonden NO<sub>x</sub>: De brandstofgebonden NO<sub>x</sub>-emissies die gevormd worden hangen af van het N-gehalte van de brandstof, de luchtvermaat en de verbrandingstemperatuur. De fractie brandstofgebonden N die wordt omgezet tot NO<sub>x</sub> neemt af met toenemend N-gehalte van de brandstof (zie onderstaande figuur). Dit wordt ook aangegeven in andere literatuurbronnen (Stubenberger G. et al., mei 2007; Hartmann, H. et al., mei 2007 en Carvalho L; et al., mei 2007).

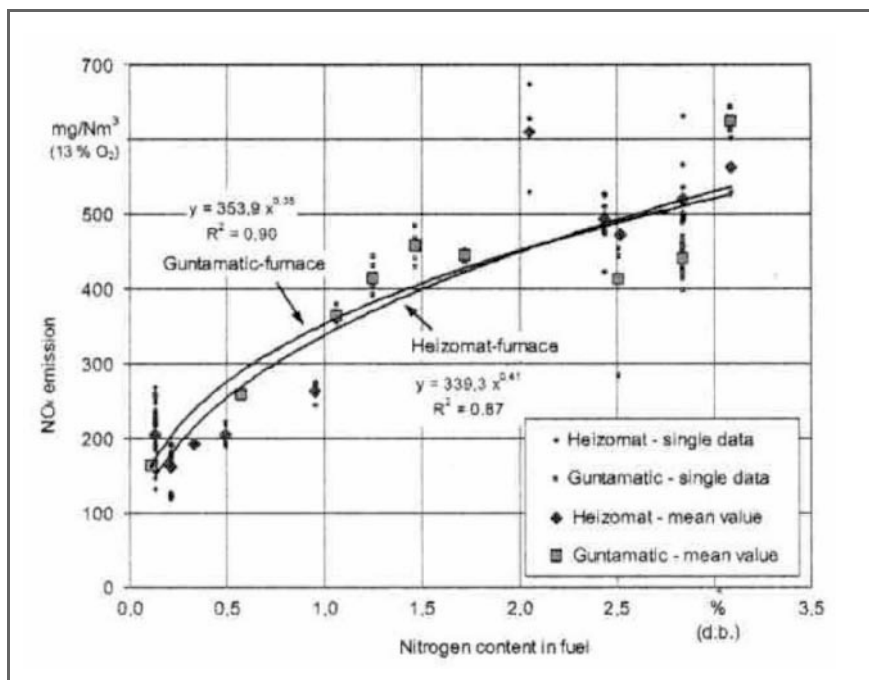
Het omzettingpercentage van brandstofstikstof naar brandstof-NO<sub>x</sub> ligt over het algemeen tussen 5 en 50%.



**Figuur 11:** Fractie van de brandstofgebonden N die wordt omgezet tot NO<sub>x</sub> in functie van het N-gehalte van de brandstof (S. Van Loo en J. Koppejan; 2007)

Uit Figuur 11, van toepassing op vaste droge biomassa, kan afgeleid worden dat voor stijgende percentages stikstof in de brandstof het aandeel dat omgezet wordt naar NO<sub>x</sub> exponentieel daalt. Bij een brandstof met 3% N wordt < 10% omgezet tot NO<sub>x</sub>, terwijl bij laag N-gehalte 50% wordt omgezet.

Hartmann bevestigt dit in zijn onderzoek op kleine graan- en strogestookte verbrandingsinstallaties. Onderstaande figuur geeft de relatie tussen NO<sub>x</sub>-emissies (bij 13%O<sub>2</sub>) en de N-inhoud van de brandstof zoals opgemeten door Hartmann (Hartmann H; et al, mei 2007).



**Figuur 12:** NO<sub>x</sub>-emissies als functie van het N-gehalte in de brandstof (Hartmann H. et al., mei 2007)

De hoeveelheid brandstof-NO<sub>x</sub> is groter in installaties op vaste hernieuwbare brandstoffen daar deze grotere hoeveelheden stikstof bevatten in vergelijking met vloeibare of gasvormige hernieuwbare brandstoffen.

- *Thermische NO<sub>x</sub>*: stikstof in de lucht begint te reageren met O-radicalen en vormt NO bij temperaturen boven ca. 1300°C. De hoeveelheid NO gevormd neemt toe met toenemende temperatuur, O<sub>2</sub>-concentratie en verblijftijd. Thermische NO<sub>x</sub>-vorming gebeurt na primaire verbranding, omwille van de afhankelijkheid van O<sub>2</sub>-concentratie en verblijftijd.

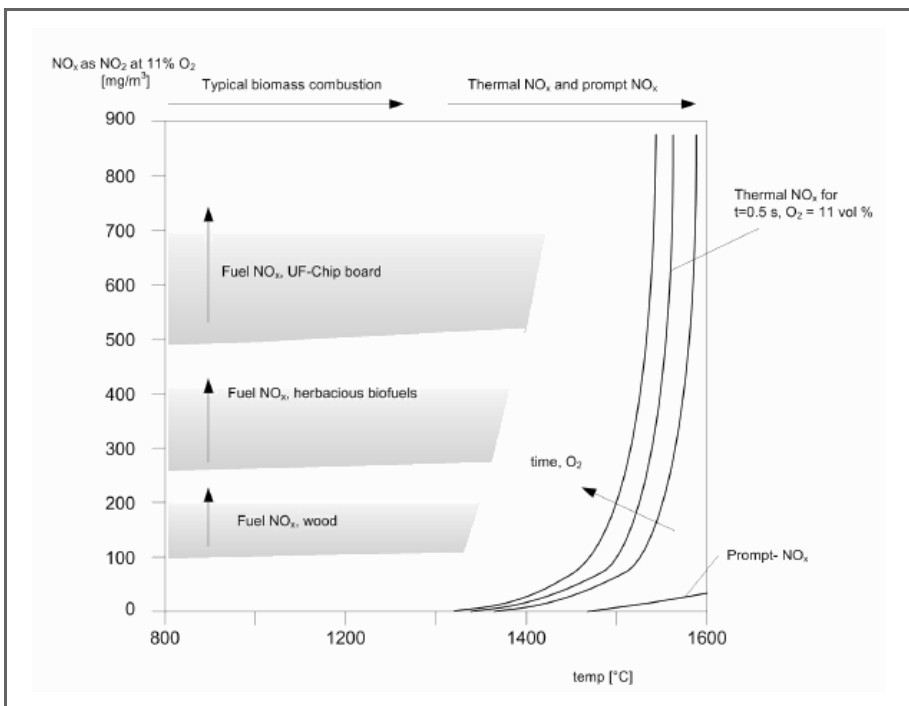
De hoeveelheid thermische NO<sub>x</sub> gevormd bij verbranding van vaste hernieuwbare brandstoffen in branders is over het algemeen verwaarloosbaar. De lage calorische waarde van de brandstoffen leidt tot een vlamtemperatuur die lager is dan 1300°C. Voor gasvormige en vloeibare brandstoffen is dit anders, hierbij is thermische NO<sub>x</sub> het voornaamste reactiemechanisme.

Ook in motoren en gasturbines is dit het geval. Hierin worden hogere piektemperaturen verkregen (1700-1900°C). Bij gebruik van hernieuwbare brandstoffen in motoren verloopt de verbranding sneller in vergelijking met het gebruik van fossiele brandstoffen. Dit geeft

aanleiding tot nog hogere temperaturen en drukken welke resulteren in hogere thermische NOx emissies.

- *Prompt NOx*: stikstof in de lucht kan ook reageren met CH en HCN vormen, welke vervolgens de reactiestappen volgt van het brandstof NOx mechanisme. Het prompt NOx mechanisme is minder temperatuursafhankelijk en sneller dan het thermische NOx mechanisme. Dit mechanisme is alleen van belang in brandstofrijke omstandigheden en zeer afhankelijk van de CH concentratie. Het prompt NOx mechanisme wordt als niet belangrijk geacht bij de vorming van NOx bij verbranding van hernieuwbare brandstoffen.

Onderstaande figuur illustreert het relatieve belang van brandstof, thermische en prompt NOx mechanismen in functie van de verbrandingstemperatuur (Nussbaumer, jan 2001).



**Figuur 13:** Invloed van verschillende NOx-vormingsmechanismen ifv de temperatuur (Nussbaumer, januari 2001)

### 3.7.1.3. SO<sub>2</sub>

Zwavel in de brandstof komt bij de verbranding ervan vrij als zwaveldioxide. Een klein percentage wordt geoxideerd tot SO<sub>3</sub>. Hierdoor kunnen de rookgassen zwavelzuur (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) bevatten.

Een deel (40-75%) van de in de brandstof aanwezige zwavel wordt aan de assen gebonden. De overige 25-60% wordt aldus omgezet tot SO<sub>2</sub> die teruggevonden wordt in de rookgassen. Metingen (Centre for biomass technology, 1998) op verbrandingsinstallaties voor stro hebben aange- toond dat 57-65% van het zwavel wordt geëmitteerd in de rookgassen, en de rest gebonden is

aan de assen. Metingen op verbrandingsinstallaties op houtsnippers (Centre for biomass technology, 2002) geven aan dat ongeveer 75% van het S in de brandstof wordt afgevangen met de bodem- en vliegassen, en dus slechts ca 25% als SO<sub>2</sub> in de rookgassen terecht komt

Omdat het zwavelgehalte van de meeste hernieuwbare brandstoffen laag is, blijft de emissie van SO<sub>2</sub> bij de verbranding ervan beperkt.

#### 3.7.1.4. HCl

Wanneer een hernieuwbare brandstof een hoge concentratie Cl bevat, kan een deel hiervan tijdens de verbranding worden omgezet in HCl. Het chloorgehalte in onbehandeld hout is zeer laag. Sommige hernieuwbare brandstoffen, zoals grassen en stro, kunnen wel significante hoeveelheden chloor bevatten. Het grootste deel reageert met Na en K tot de zouten NaCl en KCl die achter blijven na de reactie, sporen worden geëmitteerd als dioxines en organische chloorcomponenten. HCl emissies kunnen gereduceerd worden door het wassen van de brandstof, wat in beperkte mate toegepast wordt op stro vanwege het hoge chloorgehalte, en door secundaire maatregelen (zie § 4.2.12)

#### 3.7.1.5. Stof

Stofdeeltjes (PM) worden meestal ingedeeld in een ruwe fractie (> 1 µm) en een fijne fractie (< 1 µm). Een andere stofparameter is het totaal stof (TSP) welke alle deeltjes samen bevat, m.n. de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> en PM<sub>1</sub> welke respectievelijk deeltjes < 10, 2,5 en 1 µm omvatten.

De ruwe fractie is met name het gevolg van mechanische processen, zoals schuren, en deeltjesverspreiding t.g.v. verkeer, landbouw en industriële processen. Fijne partikels komen hoofdzakelijk van verbranding of thermische processen.

In vergelijking met stookolie en aardgas bevatten vaste brandstoffen, zoals biomassa en steenkool, aanzienlijke hoeveelheden asvormende elementen. Er moet een onderscheid gemaakt worden tussen deze elementen. Sommige zijn niet-vluchtig bij biomassaverbranding (Ca, Si, Mg, Fe, Al) en andere zijn vluchtige elementen zoals K, Na, S, Cl en vluchtige metalen (e.g. Zn en Pb). De vluchtige elementen zullen gedeeltelijk vrijgegeven worden in de gasfase (vervluchtigen) tijdens het verbrandingsproces terwijl de niet-vluchtige elementen in de vaste fase blijven.

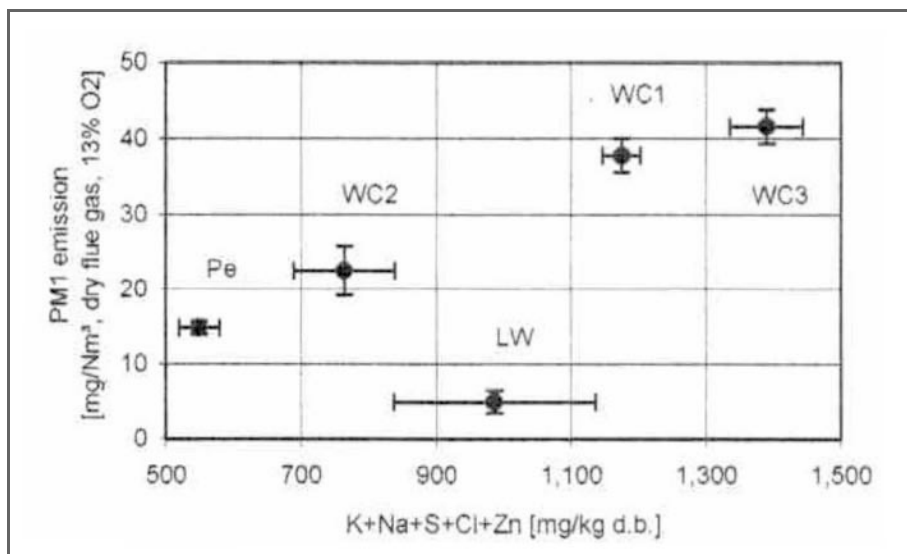
Het grootste deel van de assen gevormd bij verbranding zal de oven verlaten als bodemas. Deze fractie bestaat hoofdzakelijk uit vuurvaste deeltjes (Ca, Si, Mg, Fe, Al) maar bevat ook de niet-vrijgestelde vluchtige elementen. Slechts een klein deel van de aspartikels wordt meegesleurd met de afgassen en vormen de ruwe vliegassen. Een deel van deze ruwe vliegassen zal vervolgens neerslaan in de oven en de ketel. De deeltjes welke in de rookgassen blijven, verlaten de ketel als vliegasesmissies. Deze ruwe vliegasesmissies hebben meestal een deeltjesgrootte tussen enkele µm tot ongeveer 200 µm. De hoeveelheid vliegasesmissies neemt toe met toenemend asgehalte in de brandstof, toenemende werveling in het brandstofbed en toenemende rookgas-snelheid. Omwille van hun grote deeltjesafmetingen dragen vliegasesmissies maar weinig bij in de PM<sub>10</sub> emissies.

Een tweede type van stofemissies wordt gevormd tijdens de verbranding. Dit zijn aerosols. Deze dragen in hoge mate bij aan de PM<sub>10</sub> emissies. Over het algemeen worden de aerosols gevormd bij biomassaverbranding ingedeeld in anorganische en organische aerosols:

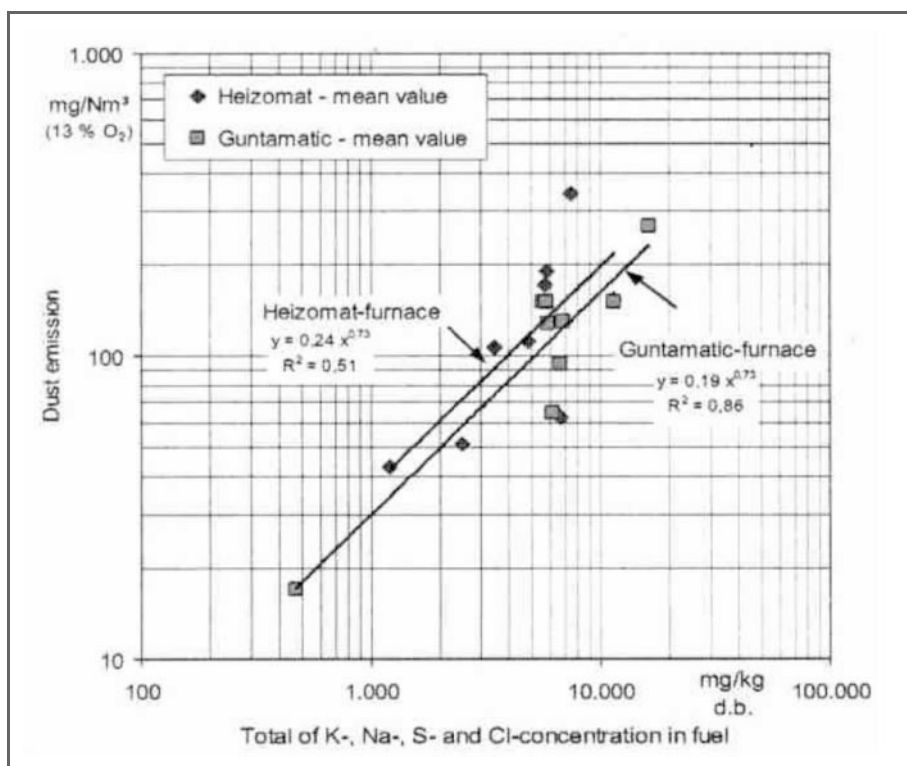


- Anorganische aerosols worden gevormd uit vluchtige elementen. Deze komen tijdens de verbranding vrij uit de brandstof en komen terecht in de gasfase. De chemische samenstelling en het vrijstellingsgedrag van vluchtige elementen bepalen hoofdzakelijk de vorming van anorganische aerosols. De belangrijkste elementen zijn K, S en Cl. In de gasfase ondergaan deze elementen reacties welke resulteren in de vorming van alkalimetaalsulfaten, -chloriden en -carbonaten. De gemiddelde deeltjesgrootte bij verbranding van onbehandeld hout ligt tussen 0,1 en 0,2  $\mu\text{m}$ .
- Organische aerosols zijn het gevolg van onvolledige verbranding en de condensatie van onverbrande koolwaterstoffen tijdens het koelen van de rookgassen. De vorming van organische aerosols is aldus het gevolg van onvolledige uitbrand van de afgassen en kan beperkt worden door het optimaliseren van het verbrandingsproces.

Obernberger (Obernberger I. et al., mei 2007) en Hartmann (Hartmann H. et al., mei 2007) bevestigen de relatie tussen de hoeveelheid aerosolvormende elementen en de hoeveelheid  $\text{PM}_{10}$  emissies respectievelijk totaal stofemissies. Onderstaande figuur geeft aan hoe de  $\text{PM}_{10}$  emissies bij houtpellets en houtsnippers toeneemt met toenemende concentratie aan aerosolvormende elementen. Echter de verbranding van houtblokken vertoont een andere trend. Deze afwijking zou mogelijk te wijten zijn aan het vrijstellingsgedrag van de aerosolvormende elementen bij verbranding van houtblokken. Een reducerende atmosfeer en een lage verbrandingstemperatuur kunnen het vrijstellen van de aerosolvormende elementen beperken en zo het vastleggen van deze elementen in de bodemassen bevorderen.



**Figuur 14:**  $\text{PM}_{10}$  emissies (13% $\text{O}_2$  droog rookgas) versus de concentratie aerosolvormende elementen in de brandstof bij vollast, waarbij Pe=pellets, WC=houtsnippers en LW=houtblokken (Obernberger I., mei 2007)



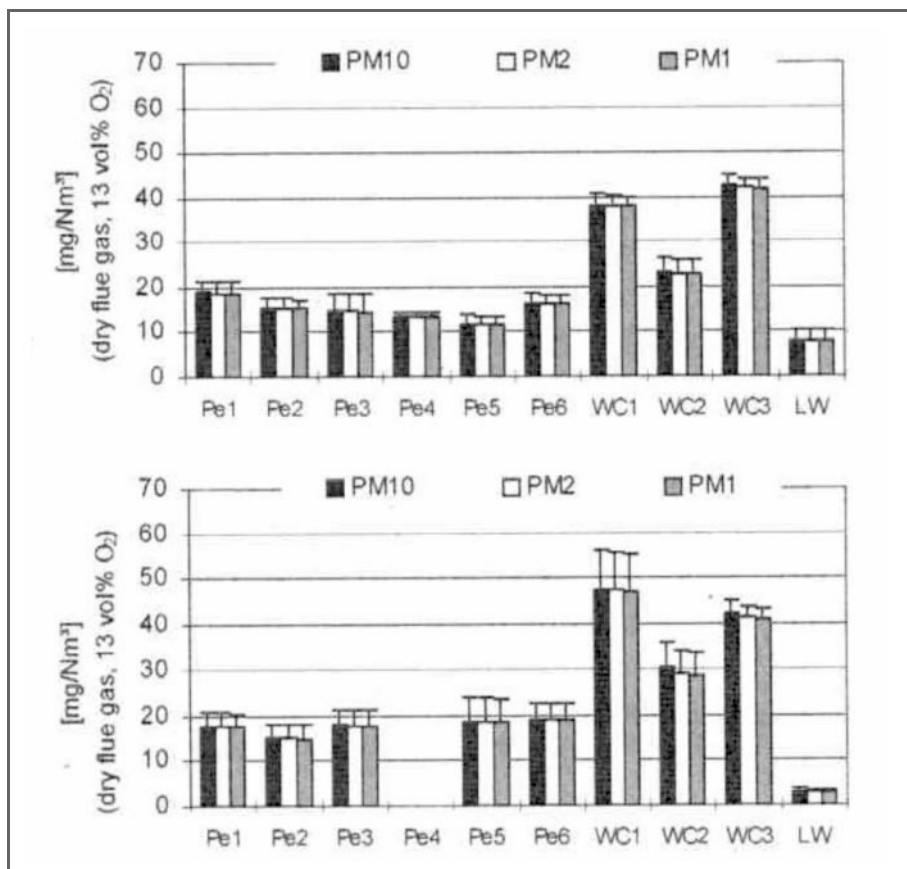
**Figuur 15:** Totale stofemissies als functie van de aerosolvormende elementen in de brandstof, regressie is gebaseerd op gemiddelde waarden van 3 tot 12 metingen per brandstof in kleine graan en strogestookte installaties (Hartmann H., mei 2007)

Aerosolen veroorzaken 2 problemen:

- het is moeilijk deze deeltjes uit de rookgassen te verwijderen. Hierdoor zijn duurdere rookgasreinigingsinstallaties nodig.
- aerosolen fungeren als condensatiekernen voor onverbrande koolwaterstof-verbindingen, waarvan met name PAKs kankerverwekkend zijn.

De deeltjesgrootte van de stofdeeltjes in het rookgas is afhankelijk van het type verbrandingsinstallatie. Zo heeft de deeltjesgrootteverdeling bij roosterovens een piek bij deeltjes met een diameter van 0,2  $\mu\text{m}$ . Voor onderschroefstokers ligt het maximum bij 0,1  $\mu\text{m}$ . In beide gevallen bestaat de stofemissie dus voornamelijk uit aerosolen. Bij wervelbedverbranding is de fractie van grove deeltjes veel groter dan bij rooster- en onderschroefverbranding. Wervelbedverbranders geven zowel verhoogde emissies van deeltjes met een diameter tussen 0,02-0,1  $\mu\text{m}$  en  $> 2 \mu\text{m}$ , dit zijn de kleine asdeeltjes van het wervelbed (Novem, 2000).

Obernberger (Obernberger, mei 2007) toont tevens aan dat bij verbranding van houtblokken, -pellets en -snippers meer dan 90% van de totale stofemissies uit deeltjes  $< 10 \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ) bestaat. Deze  $\text{PM}_{10}$  fractie bestaat dan weer voor meer dan 90% uit  $\text{PM}_1$  emissies (zie onderstaande figuren).



**Figuur 16:**  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  en  $PM_1$  emissies voor verschillende houttypen, met Pe=pellets, WC=houtsnippers en LW=houtblokken, op vollast (=bovenste grafiek) en deellast (=onderste grafiek) (Oberberger, mei 2007)

### 3.7.1.6. Zware metalen

Hernieuwbare brandstoffen bevatten in (meer of mindere mate) zware metalen. Zware metalen kunnen tijdens de verbranding verdampen (vluchtige zware metalen zoals Hg, As, Cd, Pb en Zn). Ze kunnen condenseren op het oppervlak van stofdeeltjes, of worden ingekapseld in vlieg-asdeeltjes. Verontreinigde hernieuwbare brandstofstromen, zoals geïmpregneerd of geverfd hout en zuiveringsslib, bevatten veel hogere gehalten aan zware metalen. Eén voorbeeld is de aanwezigheid van Cr en As in CCA (koper-chroom-arseen) geïmpregneerd hout.

### 3.7.1.7. CO

CO emissies ontstaan bij een onvolledige verbranding. Deze onvolledige verbranding kan ontstaan door een ondermaat aan verbrandingslucht. Ook een te korte verblijftijd van de rookgassen (waardoor de verbrandingslucht zich niet voldoende kan mengen met de brandbare gassen), kan een oorzaak zijn van de vorming van CO. Ten slotte kan ook een te snelle afkoeling van de brandbare gassen aanleiding geven tot CO-vorming.

CO is een goede indicator voor de verbrandingskwaliteit. Grote installaties hebben over het algemeen betere mogelijkheden voor het optimaliseren van het verbrandingsproces dan kleine installaties. De CO emissieniveaus van kleine installaties liggen daarom meestal hoger dan voor grote installaties.

### 3.7.1.8. *KWS*

Deze groep bevat alle koolwaterstoffen, met uitzondering van PAK en andere zware koolwaterstoffen die condenseren en partikels vormen. Methaan ( $\text{CH}_4$ ) wordt vaak apart genoemd naast de andere koolwaterstoffen omdat het een sterk broeikasgas is. Bij verbranding zijn KWS belangrijke tussenproducten bij de omzetting van brandstof gebonden C en H tot respectievelijk  $\text{CO}_2$  en  $\text{H}_2\text{O}$ . Koolwaterstoffen zijn over het algemeen vroege tussenproducten, i.v. met CO, wat betekent dat ze een lager emissieniveau hebben. Ze ontstaan door te lage verbrandingstemperaturen, te korte verblijftijden, of een ondermaat aan zuurstof.

### 3.7.1.9. *PAK*

Polyaromatische koolwaterstoffen (PAK's) worden meestal afzonderlijk vermeld omwille van hun carcinogene effecten. Het zijn allemaal tussenproducten in de omzetting van brandstofgebonden C en H tot  $\text{CO}_2$  en  $\text{H}_2\text{O}$ . Net zoals voor  $\text{CO}_2$  en KWS emissies zijn PAK's ook het gevolg van te lage verbrandingstemperatuur, te korte verblijftijden en gebrek aan beschikbare zuurstof.

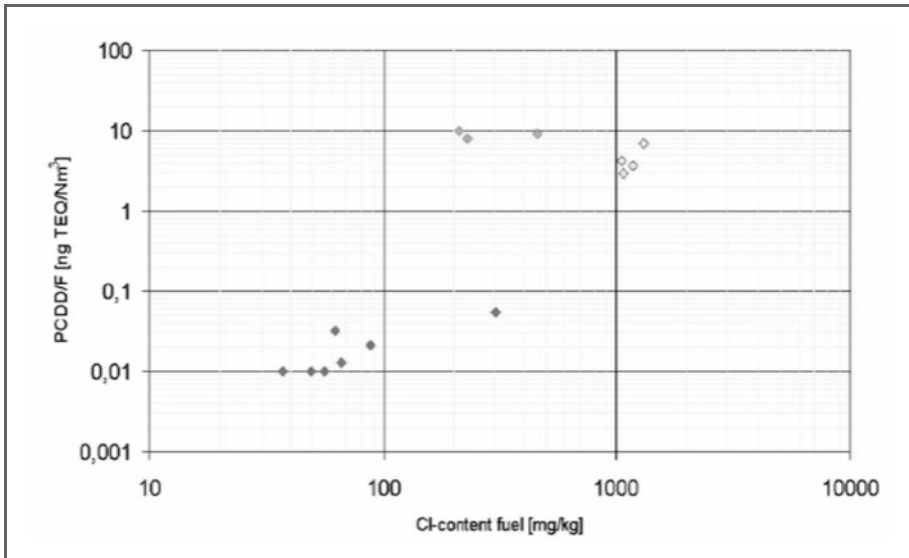
### 3.7.1.10. *PCDD/PCDF*

Polygechloreerde p-dibenzodioxinen (PCDD) en polygechloreerde p-dibenzofuranen (PCDF) zijn groepen van zeer toxische componenten. Vorming van dioxines gebeurt vnl. via de-novo synthese binnen een temperatuursrange tussen  $180^\circ\text{C}$  en  $500^\circ\text{C}$  in aanwezigheid van chloor, koolstof, katalysatoren (Cu, Fe), zuurstof en een vast oppervlak, nl. de vliegassen. (Nussbaumer T., 1998). PCDD/F worden in zeer kleine hoeveelheden gevormd uit alle hernieuwbare brandstoffen welke chloor bevatten. De emissies van PCDD/F zijn zeer afhankelijk van de voorwaarden waaronder de verbranding en rookgaskoeling plaatsvinden, waardoor zeer brede ranges en variaties in de praktijk worden teruggevonden.

Een aantal minimumvoorwaarden moeten in acht genomen worden om lage dioxine emissies ( $< 0,01 \text{ ngTEQ:Nm}^3$ ) te verzekeren (Nussbaumer, Dioxinmissionen von verbrennungsanlagen für Holz und Restholz bis 10MW:grundlagen und stand der techniek, Vyncke, Augustus 2003):

- een homogeen temperatuurprofiel van  $> 850^\circ\text{C}$  in de oven
- zuurstofconcentratie in de rookgassen  $< 10\%$
- continue verbranding
- goede uitbrand, lage C gehalte in de vliegas ( $< 5\% \text{C}$ )
- rookgastemperatuur  $< 180^\circ\text{C}$
- stofemissie zo laag mogelijk, als mogelijk  $< 5\text{-}10 \text{ mg/Nm}^3$

Zoals reeds aangegeven spelen een aantal brandstofeigenschappen, m.n. het chloorgehalte, in op de dioxine-vorming. Het chloorgehalte is best  $< 200 \text{ mg/kg}$  (0,02%). Tevens moet de aanwezigheid van katalysatoren als Cu en Fe vermeden worden.



**Figuur 17:** Relatie chloorgehalte in de brandstof (mg/kg) en PCDD/F emissies (ngTEQ/Nm<sup>3</sup>)

Hoewel grassen en stro hoge gehalten aan chloor bevatten zijn de PCDD/F emissies hierbij meestal erg laag. Dit kan verklaard worden door hun hoog alkali-gehalte, welk leidt tot de vorming van zouten (KCl, NaCl) en er dus minder gasvormige chloor overblijft voor de de-novo synthese.

Ook SO<sub>2</sub> zou inhiberend werken op de activiteit van chloor als katalysator in de vorming van dioxines door het stimuleren van de oxidatiereactie van HCl tot Cl<sub>2</sub> (Nussbaumer, augustus 2003).

Verbranden van afvalhout en afbraakhout kan leiden tot hoge dioxine-emissies in de range van 1-10 ng TEQ/Nm<sup>3</sup>. Ook houtresten en natuurlijk hout kunnen tot gelijkaardige dioxine concentraties leiden als deze kleine hoeveelheden Cl, Cu of Fe bevatten.

### 3.7.1.11. Ammoniak

Kleine hoeveelheden ammoniak (NH<sub>3</sub>) kunnen worden geëmitteerd ten gevolge van een onvolledige omzetting van NH<sub>3</sub> naar geoxideerde N. Deze onvolledige omzetting is voornamelijk het gevolg van te lage verbrandingstemperaturen. Dit gebeurt in speciale gevallen waar de verbrandingstemperatuur zeer laag is.

Verder kan er ook nog ammoniak vrijkomen uit de secundaire deNO<sub>x</sub> maatregelen welke gebruikmaken van NH<sub>3</sub> injectie. Dit kan voorkomen worden door het optimaliseren van dit NH<sub>3</sub>-injectie proces.

### 3.7.1.12. Overzicht impact lucht

In onderstaande tabel wordt een overzicht van de milieu-, klimaats- en gezondheidsimpact van verbranding (van hernieuwbare brandstoffen).

**Tabel 57: Polluenten bij verbranding en hun impact naar milieu, klimaat en gezondheid (S. Van Loo en J. Koppejan; 2007)**

Component	Bron	Milieu-, klimaat- en gezondheidsimpact
Koolstofdioxide (CO <sub>2</sub> )	Gevolg van verbranding van alle brandstoffen	<i>Klimaat:</i> direct broeikasgas. Hoewel CO <sub>2</sub> emissies afkomstig van de verbranding van hernieuwbare brandstoffen als CO <sub>2</sub> -neutraal worden beschouwd
Koolstofmonoxide (CO)	Gevolg van onvolledige verbranding van alle brandstoffen	<i>Klimaat:</i> indirect broeikasgas door O <sub>3</sub> -vorming <i>Gezondheid:</i> beperkte zuurstofopname met verstikking in extreme gevallen
Methaan (CH <sub>4</sub> )	Gevolg van onvolledige verbranding van alle brandstoffen	<i>Klimaat:</i> direct broeikasgas, indirect broeikasgas door O <sub>3</sub> -vorming
Niet-methaan vluchtige organische componenten (NMVOS)	Gevolg van onvolledige verbranding van alle brandstoffen	<i>Klimaat:</i> indirect broeikasgas door O <sub>3</sub> -vorming <i>Gezondheid:</i> negatieve effecten op het menselijk ademhalingsstelsel
Polyaromatische koolwaterstoffen (PAK)	Gevolg van onvolledige verbranding van alle brandstoffen	<i>Milieu:</i> smog vorming <i>Gezondheid:</i> carcinogene effecten
Partikels	Roet en teer als gevolg van onvolledige verbranding Vliegassen en zouten	<i>Klimaat en milieu:</i> indirecte effecten van zware metaalconcentraties in neergeslagen deeltjes <i>Gezondheid:</i> negatieve effecten op het menselijk ademhalingsstelsel en carcinogene effecten
Stikstofoxiden (NO <sub>x</sub> )	Gevolg van verbranding van alle brandstoffen welke N bevatten. Bijkomend kan er onder bepaalde voorwaarden NO <sub>x</sub> gevormd worden uit de N in de lucht	<i>Klimaat en milieu:</i> indirect broeikasgas door O <sub>3</sub> vorming. Omgekeerd broeikasgaseffect door vorming van aerosols. Zuurprecipitatie. Schade aan de vegetatie. Smog vorming. Corrosie en materiaalschade. <i>Gezondheid:</i> negatieve effecten op het menselijk ademhalingsstelsel. NO <sub>2</sub> is toxisch
Distikstofoxide (N <sub>2</sub> O)	Gevolg van verbranding van alle brandstoffen welke N bevatten.	<i>Klimaat:</i> direct broeikasgas <i>Gezondheid:</i> indirect effect door O <sub>3</sub> ontbinding in de stratosfeer
Ammoniak (NH <sub>3</sub> )	Kleine hoeveelheden kunnen geëmitteerd worden als gevolg van onvolledige omzetting van NH <sub>3</sub> tot N-houdende componenten. Secundaire deNO <sub>x</sub> maatregelen met NH <sub>3</sub> injectie	<i>Milieu:</i> Zuurprecipitatie. Schade aan de vegetatie. Corrosie en materiaalschade. <i>Gezondheid:</i> negatieve effecten op het menselijk ademhalingsstelsel
Zwaveloxiden (SO <sub>x</sub> )	Gevolg van verbranding van alle brandstoffen welke S bevatten.	<i>Klimaat en milieu:</i> omgekeerd broeikasgaseffect door vorming van aerosols. Zuurprecipitatie; schade aan de vegetatie. <i>Gezondheid:</i> negatieve effecten op het menselijk ademhalingsstelsel

Component	Bron	Milieu-, klimaat- en gezondheidsimpact
Zware metalen	Alle hernieuwbare brandstoffen bevatten in bepaalde mate zware metalen, welke in de assen blijven of verdampen	<i>Gezondheid:</i> accumuleert in de voedselketen. Sommige zijn toxische en enkele hebben carcinogene effecten
Ozon (O <sub>3</sub> )	Secundair verbrandingsproduct gevormd uit atmosferische reactie tussen CO, CH <sub>4</sub> , NMVOS en NO <sub>x</sub>	<i>Klimaat en milieu:</i> direct broeikasgas. Schade aan de vegetatie. Smog vorming. Materiaalschade. <i>Gezondheid:</i> indirect effect door O <sub>3</sub> ontbinding in de stratosfeer, negatieve effecten op het menselijk ademhalingsstelsel
Waterstofchloride (HCl)	Gevolg van verbranding van alle brandstoffen welke Cl bevatten.	<i>Milieu:</i> Zuurprecipitatie. Schade aan de vegetatie. Corrosie en materiaalschade. <i>Gezondheid:</i> negatieve effecten op het menselijk ademhalingsstelsel
Dioxines en furanen (PCDD/F)	Kleine hoeveelheden kunnen gevormd worden als resultaat van reacties tussen C, Cl, O <sub>2</sub> en de aanwezigheid van een katalysator (Cu)	<i>Gezondheid:</i> zeer giftig. Leverschade. Schade aan centraal neurale systeem. Verminderde weerstand. Accumuleert in de voedselketen.

### 3.7.2. Emissies naar lucht: kwantitatief

Over het algemeen kunnen de emissies van verbranding verdeeld worden in (i) emissies beïnvloed door de verbrandingstechnologie en procescondities en (ii) emissies die beïnvloed worden door de brandstofsamenstelling.

Om een objectieve visie te krijgen op de emissieniveaus, is het noodzakelijk om emissiegegevens te verzamelen van een brede range van brandstof-technologie combinaties. Deze informatie is echter niet beschikbaar. De beschikbare meetrapporten geven slechts een beperkte set van data, waaruit moeilijk duidelijke conclusies te trekken zijn. Vaak ontbreken de gegevens omtrent de samenstelling van de brandstof en de details betreffende het verbrandingsproces.

In onderstaande paragrafen wordt getracht een inzicht te krijgen in de emissies. Enerzijds worden hiervoor gegevens uit de literatuur en meetrapporten gebruikt, anderzijds worden berekeningen uitgevoerd op basis van elementaire samenstelling van de brandstoffen en vergelijkingen met de conventionele fossiele brandstoffen.

#### 3.7.2.1. Vaste hernieuwbare brandstoffen

##### a. Inventarisatie van emissiegegevens

Hout blijkt, anno 2008, de meest gebruikte hernieuwbare brandstof. Over houtverbranding zijn veel literatuurbronnen en meetrapporten ter beschikking.

Deze meetrapporten tonen o.a. de invloed van het verbrandingsproces en -techniek op de emissies. Zo geven Nussbaumer en Hustad (Nussbaumer en Hustad, June 2000) ranges van emissieniveaus van verschillende houtgestookte installaties uitgebaat onder goede en slechte condities (Tabel 58). Hieruit blijkt dat een slecht lopend verbrandingsproces met name de emissies van CO en onverbrande koolwaterstoffen sterk doet toenemen (> 90%). Ook voor stof- en NO<sub>x</sub>-

emissies spelen de procescondities in op de geëmitteerde concentraties. Een optimaal verbrandingsproces, m.n. optimale luchtvermaat kan de stofemissies met 60% doen afnemen (zie ook hoofdstuk 4) en houdt tevens de NO<sub>x</sub>-emissies onder controle. Een te hoge luchtvermaat geeft aanleiding tot lage NO<sub>x</sub>-emissies maar verhoogde emissies van onverbrande en CO-emissies (en bijgevolg een verlaagd rendement).

**Tabel 58:** Emissies die voornamelijk beïnvloed worden door de verbrandingstechnologie en de procescondities: vergelijking tussen slechte en goede condities (Nussbaumer en Hustad, June 2000)

Emmissies in mg/Nm <sup>3</sup> bij 11% O <sub>2</sub>	Slechte condities	Goede condities
Luchtvermaat ?	2-4	1,5-2
CO	1000-5000	20-250
CxHy	100-500	< 10
PAK's	0,1-10	< 0,01
Stof, na de cycloon	150-500	50-150

Naast de procescondities speelt ook het type verbrandingsproces (wervelbed (WBV), rooster, onderschroef, brander) in op de hoeveelheid emissies. Zo variëren de stof- en NO<sub>x</sub>-emissies afhankelijk van het type verbrandingsinstallatie. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de conclusies uit een literatuurstudie uitgevoerd door Novem (Novem, 2000) op verschillende conversiesystemen voor schoon hout zonder rookgasreiniging.

**Tabel 59:** Ranges van de NO<sub>x</sub>- en stofemissies (in mg/Nm<sup>3</sup> bij 11%O<sub>2</sub>) in de ongereinigde rookgassen bij verschillende types verbrandingsinstallaties op schoon hout met een vermogen tot 5MW<sub>th</sub> (Novem, 2000)

Type installaties	NO <sub>x</sub>	stof
Rooster	100-300	70-500
Onderschroef	100-250	350-850
WBV: Bubbling bed	40-220	4000-5700
WBV: Circulerend bed	30-300	2000-3000

Uit bovenstaande tabel blijkt dat bij wervelbedverbranding de NO<sub>x</sub>-concentraties lager zijn dan bij andere systemen. Dit kan verklaard worden door de lagere verbrandingstemperatuur. De stofconcentraties in de ruwe rookgassen liggen bij wervelbedverbranding hoger. Dit leidt echter niet noodzakelijk tot problematische emissies. De stofdeeltjes zijn veel groter dan bij rooster- of onderschroefverbranding en dus makkelijker af te scheiden.

In onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van de minimum- en maximumwaarden teruggevonden in de literatuur en meetrapporten voor de belangrijkste parameters: NO<sub>x</sub>, stof en zware metalen, SO<sub>x</sub>, HCl en dioxines



**Tabel 60:** Overzicht van de minimum- en maximum- emissiewaarden van in de literatuur en meetrappen beschikbare emissiegegevens: vergelijking tussen verschillende vaste hernieuwbare brandstoffen

Emissies in mg/Nm <sup>3</sup> bij 6% O <sub>2</sub>	Brandstoftype	Typische emissieniveaus
NO <sub>x</sub>	Zacht hout	150-300
	Hard hout	225-375*** (zonder SNCR) 195-290 ***
	Stro, gras, miscanthus, spaanplaat, MDF	450-1350*
	Vezelplaat, houtsnippers, schors	243-505**
	Afvalhout – schoon (B-hout)	340-750*
	Diermeel	na reiniging: 263-557**
	Mest	na reiniging: 258-498**
Stof	Hout	200 mg/Nm <sup>3</sup> zonder ESP*** 30-50 mg/Nm <sup>3</sup> met ESP*** < 10 mg/Nm <sup>3</sup> met WESP*** na cycloon: 225-750 mg/Nm*
	Stro, gras, miscanthus, spaanplaat	na cycloon: 225-1500
	Vezelplaat, houtsnippers, MDF, schors	56-468
	Afvalhout – schoon	na doekfilter of elektrostatische filter: < 10
	Mest	na reiniging: 29-38 **
Som Pb, Zn, Cd, Cu	Hout	< 2
	Afvalhout – schoon	onbehandeld: 30-150 na doekfilter of elektrostatische filter: < 8
SO <sub>x</sub>	Stro	150
	Diermeel	24-511**
	Mest	316-1800**
HCl	Hout	< 8
	Afvalhout – schoon	onbehandeld gas: 150-1500
	Stro, gras, miscanthus, spaanplaat (NH <sub>4</sub> Cl)	met HCl absorptie: < 30 stro zonder maatregel < 105
	Vezelplaat, houtsnippers, MDF, schors	15
	Diermeel	15-129**
	Mest	na reiniging: 8-272 **
PCDD/F (ng TE/Nm <sup>3</sup> )	Hout	typisch: < 0,2
		range: 0,02-0,8
	Afvalhout – schoon	typisch: 3
		range: 0,2-30

\* op basis van praktijkgegevens, schriftelijke mededeling Veerle Truyen, mei en oktober 2008, meetrappen Milieu-inspectie en Boerenbond

\*\* waarden uit praktijkgegevens uit Huybrechts et al. 2001 en ECN mei 2003 (na reiniging)

\*\*\* waarden gegarandeerd door leveranciers houtverbranding, emissies afhankelijk van N-gehalte van het hout en afgetoetst met gegevens uit meetrappen Milieu-inspectie en gegevens verkregen via leden van het begeleidingscomité (Vyncke, Typhoon, Wärsilä)

Hieruit blijkt duidelijk dat voor de verschillende brandstoffen brede ranges worden gerapporteerd. Voor bepaalde brandstoffen, o.a. grassen en spaanplaat, worden soms hoge stof-,  $\text{NO}_x$ - en dioxine-emissies teruggevonden. Deze hoge emissies kunnen mogelijk het gevolg zijn van de brandstofsamenstelling (o.a. N-, as en Cl-gehalte), een slecht verloop van de verbranding, slecht werkende filterinstallaties, of een combinatie van deze factoren. De specifieke oorzaak is niet uit de meetgegevens af te leiden daar de gedetailleerde gegevens voor diepere interpretatie ontbreken. Dit bemoeilijkt ook de vergelijking tussen de verschillende meetgegevens.

### b. Berekening van de emissieniveaus

$\text{NO}_x$  en  $\text{SO}_2$  zijn, naast stof, zware metalen en dioxines, kritische parameter bij de verbranding van vaste hernieuwbare brandstoffen. Uit de literatuur blijkt dat, naast het verbrandingsproces, de brandstofsamenstelling een sterk bepalend karakter heeft op de emissies van deze parameters. Zo is de concentratie aan  $\text{NO}_x$  in de rookgassen bij vaste brandstoffen voornamelijk een gevolg van de hoeveelheid N in de brandstof (zie § 3.7.1.2). Voor  $\text{SO}_2$  zijn de emissieniveaus enkel een gevolg van de hoeveelheid S in de brandstof (zie § 3.7.1.3).

Om een beter inzicht te krijgen in de te verwachten  $\text{NO}_x$ - en  $\text{SO}_2$ -emissies worden de emissieniveaus berekend op basis van de N- en S-gehalten van de verschillende vaste hernieuwbare brandstoffen.

### c. Berekening van de emissieniveaus voor $\text{NO}_x$

Vertrekpunt van de berekeningen is de brandstofsamenstelling, m.n. het N-gehalte in de brandstof. In de Europese standaard betreffende brandstofsamenstellingen en klassen voor vaste hernieuwbare brandstoffen (prEN 14961-1) en de VDI richtlijn voor verbranding van hout en behandeld hout (VDI 3462), worden gegevens m.b.t. de gemiddelde elementaire samenstelling (C, H, N, O, S, chloor, zware metalen) van natuurlijk hout, behandeld hout en andere vaste hernieuwbare brandstoffen vermeld. Deze zijn in onderstaande tabel weergegeven.

**Tabel 61:** Overzicht gemiddelde samenstelling onbehandeld hout en verschillende typen spaanplaten (prEN14961-1 – VDI-richtlijn 3462)

Materiaal	Elementaire samenstelling in gewichtspercentage (%w/w, droge basis)							
	C	H	O	N	Cl	S	As	Cal. Waarde (MJ/kg)
Onbehandeld hout	48-52	5,7-6,5	35-45	0,1-0,9	< 0,01-0,05	< 0,01-0,1	0,2-3	16
PF spaanplaat	49	6	44	0,5	< 0,01	-	2	16
UF spaanplaat met $\text{NH}_4\text{Cl}$ -harder <sup>1</sup>	49	6	43	3	0,2	< 0,02	< 1	16
UF spaanplaat met $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -harder <sup>2</sup>	48	6	43	3	< 0,05	0,1	< 1	16
MDI spaanplaat	49	6	44	1	< 0,01	-	0,5	16
UF spaanplaat met melamine deklaag <sup>2</sup> , of andere N-houdende component	49	5,5	43	4	0,2-<0,05	< 0,02-0,1	1	16
UF spaanplaat met PVC deklaag	48	5	42	3	2	< 0,02-0,1	> 1	16

Met: PF: fenolformaldehyde, UF: ureumformaldehyde, MDI: methyl-di-isocynaat

Voor vezelplaat en triplex gelden vergelijkbare waarden als voor spaanplaat met laag N-gehalte

- Tot 1990 overwegend  $\text{NH}_4\text{Cl}$ -harder, daarna  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -harder
- Voor platen met gemiddelde dikte van 16mm

Ten opzichte van hout is het stikstofgehalte van behandeld hout duidelijk hoger. Dit kan tot hogere NOx-emissies leiden, waardoor extra rookgasreiniging vereist is. Ook het chloorgehalte van behandeld hout is over het algemeen hoger dan voor onbehandeld hout. Bij hoge chloorgehalten (hoger dan 0,2%) bestaat gevaar voor corrosie en moeten beschermende maatregelen voor de thermische installatie worden genomen. De gemiddelde stookwaarde van behandeld en onbehandeld hout ligt tussen 12 en 16 MJ/kg (d.b.).

In onderstaande tabel wordt de gemiddelde samenstelling gegeven van stro en grasachtige materialen (prEN 14961-1). De stookwaarde van grasachtige biomassafracties ligt tussen 17,1 en 18,5 MJ/kg.

**Tabel 62:** Gemiddelde samenstelling stro en grasachtig materiaal (prEN 14961-1)

Materiaal	Elementaire samenstelling in gewichtsperscentage (droge basis)							Cal. Waarde (MJ/kg)
	C	H	O	N	Cl	S	As	
Stro	45-48	5,9	39-40	0,3-1,4	< 0,05-0,2	< 0,1-1,1	2-10	17,8
Gras (hooi)	46-47	5,9-6,1	40-42	0,7-1,3	0,2	0,2-0,7	1-10	17,8
Bermgras	47	5,5	43	1	0,2	0,1	5	17,8

Andere vaste biomassaströmen zijn slib (RWZI), mest en diermeel. Gegevens omtrent de samenstellingen zijn gevonden in de literatuur (Lemmens et al 2006, ECN mei 2003, ECN november 2000 en enkele VITO metingen m.b.t. co-verbranding).

Diermeel heeft een stookwaarde van 18 MJ/kg, mest 15-19 MJ/kg en slib 10 MJ/kg.

**Tabel 63:** Gemiddelde samenstelling diermeel, mest en RWZI-slib (Lemmens et al. 2006, ECN mei 2003, ECN november 2000 en enkele VITO metingen m.b.t. co-verbranding)

Materiaal	Elementaire samenstelling in gewichtsperscentage (droge basis)							Cal. Waarde (MJ/kg)
	C	H	O	N	Cl	S	As	
Diermeel	41	5,8	20,2	7,8	0,8	0,7	24,1	18
Mest	39-65	3,4-4,9	21,4-39,7	3-9	0,5-0,6	0,6-1,2	15-27	17
RWZI slib	28-52	7,5	30,6	3-7,4	0,1	1-2,2	43-48	10

De vermelde N-gehalten worden gebruikt voor de berekening van (theoretische) emissiewaarden. Voor deze berekeningen worden een aantal aannames gedaan:

- berekening NOx-emissies:
  - algemeen verwaarloosbare hoeveelheid gevormde thermische NOx t.o.v. brandstof NOx: zoals reeds aangegeven in § 3.7.1 bestaan de totale NOx-emissies voornamelijk uit brandstof-NOx en zijn de thermische NOx-emissies bij verbranding van vaste hernieuwbare brandstoffen verwaarloosbaar omwille van de lagere vlamtemperatuur (<1300°C).

*Noot: de vorming van thermische NOx kan niet in alle gevallen verwaarloosd worden. Er zit een grote spreiding op de mogelijke impact, zie Tabel 59.*

- gebruik empirische formules (afgeleid uit houtverbranding):
  - omzettingpercentage brandstofgebonden N naar brandstof NOx-emissies:
 
$$'N/NO_x' = 0,133 \times ('N \text{ gew.}\%')^{-0,4905} \text{ (zie Figuur 11)}$$

Dit omzettingspercentage houdt reeds rekening met een optimale verbranding met inzet van getrapte verbranding.

- NO<sub>x</sub>-emissies in mg/kg brandstof:  
'NO<sub>x</sub> (mg/kg brandstof)' = 'N gew.%' × 'N/NO<sub>x</sub>' × 10000 × 'molmassa NO<sub>x</sub>/N (= 46/14)'
- NO<sub>x</sub>-emissies in mg/Nm<sup>3</sup> bij reëel O<sub>2</sub>% (8,5% O<sub>2</sub>)  
'NO<sub>x</sub>-emissies (mg/Nm<sup>3</sup>)' = NO<sub>x</sub> (mg/kg brandstof) / rookgasdebiet (Nm<sup>3</sup>/kg brandstof)

De resultaten van de berekeningen worden hieronder samengevat. De details zijn weergegeven in BIJLAGE 3:.

**Tabel 64:** *Overzicht berekende max. NO<sub>x</sub>-emissieconcentraties in de rookgassen in mg/Nm<sup>3</sup> bij 6% O<sub>2</sub> voor vaste hernieuwbare brandstoffracties, uitgangspunt bij de berekeningen is enerzijds het N-gehalte in de brandstof en anderzijds een installatie voorzien van overfire air:*

Materiaal	N gew.%	Brandstof NO <sub>x</sub> mg/Nm <sup>3</sup> bij 6%O <sub>2</sub>	Brandstof NO <sub>x</sub> mg/MJ
Onbehandeld hout	0,1-0,9	180-520	90-260
PF spaanplaat	0,5	410	205
UF spaanplaat met NH <sub>4</sub> Cl-harder <sup>1</sup>	3	970	480
UF spaanplaat met (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -harder	3	970	480
MDI spaanplaat	1	555	275
UF spaanplaat met melamine (of andere N-houdende component) deklaag	4	1120-1350*	555
UF spaanplaat met PVC deklaag	3	970	480
Stro	0,3-1,4	290-615	140-300
Gras	0,7-1,3	415-590	200-285
Bermgras	1	510	250
Diermeel	7,8	1440	695
Mest	3-9	925-1615	450-790
RWZI slib	3-7,4	1360-2155	765-1215

1. Tot 1990 overwegend NH<sub>4</sub>Cl-harder, daarna (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-harder

\* schriftelijke communicatie Veerle Truyen, mei 2008

Uit deze berekeningen kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- Spaanplaten: verschillende spaanplaattypen leiden tot verschillende emissies. De NO<sub>x</sub>-emissies van spaanplaten zijn typisch hoger dan deze van onbehandeld hout.
- Grasachtigen: de NO<sub>x</sub>-emissies zijn gemiddeld in vergelijking met andere stromen maar vertonen een brede spreiding.
- Diermeel, mest en RWZI-slib: NO<sub>x</sub>-concentraties zijn verhoogd t.o.v. andere stromen.

#### **d. Berekening van de emissieniveaus voor SO<sub>2</sub>**

Vertrekpunt van de berekeningen is de brandstofsamenstelling, m.n. het S-gehalte van de brandstof. In de Europese standaard betreffende brandstofsamenstellingen en klassen voor vaste hernieuwbare brandstoffen (prEN 14961-1) en de VDI richtlijn voor verbranding van hout en behandeld hout (VDI 3462), worden gegevens m.b.t. de gemiddelde elementaire samenstelling (C, H, N, O, S, chloor, zware metalen) van natuurlijk hout, behandeld hout en andere vaste hernieuwbare brandstoffen vermeld (zie bovenstaande tabellen).

Zoals aangegeven in § 3.7.1.3 wordt 25-65% van het zwavel geëmitteerd in de rookgassen als SO<sub>2</sub>. Op basis van de gevonden gegevens kan niet worden afgeleid hoe deze brede range verklaard kan worden. Bovendien wordt voor vaste brandstoffen doorgaans gewerkt met een omzettingsrendement van 100%. Vandaar dat in de verdere berekeningen wordt geopteerd om met een waarde die zich aan de hogere kant van de range bevindt te werken, namelijk 60%. Deze berekende waarden worden in onderstaande tabel weergegeven. Meer details zijn terug te vinden in BIJLAGE 3:

Ter informatie wordt tussen haakjes de emissieconcentratie in de rookgassen weergegeven wanneer 25% van de aanwezige S wordt omgezet tot SO<sub>2</sub>.

**Tabel 65:** *Overzicht berekende SO<sub>2</sub>-emissieconcentraties in ongereinigde rookgassen in mg/Nm<sup>3</sup> bij 6% O<sub>2</sub> voor vaste hernieuwbare brandstoffracties, (waarden bij omzetting van slechts 25% van de S tussen haakjes)*

Materiaal	S gew. %	Brandstof SO <sub>2</sub> mg/Nm <sup>3</sup> bij 6%O <sub>2</sub>	Brandstof SO <sub>2</sub> mg/MJ
Onbehandeld hout	0,01-0,1	15-155 (10-65)	8-75 (3-35)
PF spaanplaat	-	-	-
UF spaanplaat met NH <sub>4</sub> Cl-harder <sup>1</sup>	0,02	30 (15)	15 (6)
UF spaanplaat met (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -harder	0,1	155 (65)	75 (35)
MDI spaanplaat	-	-	-
UF spaanplaat met melamine (of andere N-houdende component) deklaag	0,02-0,1	30-155 (15-65)	15-75 (6-35)
UF spaanplaat met PVC deklaag	0,02-0,1	30-155 (15-65)	15-75 (6-35)
Stro	0,1-1,1	140-1540 (60-640)	70-745 (30-310)
Gras	0,2-0,7	280-980 (120-410)	135-475 (60-200)
Bermgras	0,1	140 (60)	70 (30)
Diermeel	0,7	970 (405)	470 (195)
Mest	0,6-1,2	870-1740 (365-725)	425-850 (180-355)
RWZI slib	1-2,2	2130-4685 (890-1950)	1200-2640 (500-1100)

1. Tot 1990 overwegend NH<sub>4</sub>Cl-harder, daarna (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-harder

Uit deze berekeningen kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- Spaanplaten: de gemiddelde S-gehalten zijn laag, max. 0,1% S. Deze lage S-gehalten geven dan ook lage SO<sub>2</sub>-emissies, max. 150 mg/Nm<sup>3</sup> bij 6%O<sub>2</sub>.
- Grasachtigen: de SO<sub>2</sub>-emissies zijn gemiddeld hoger in vergelijking met houtachtige stromen en vertonen een brede spreiding.
- Diermeel, mest en RWZI-slib: SO<sub>2</sub>-emissies zijn hoger t.o.v. houtachtige stromen, m.n. slibs bevatten blijkbaar zeer hoge S-gehalten.
- Lagere omzettingen leiden tot lagere emissies.

### ***e. Andere belangrijke verbrandingsemissies: stof, zware metalen en dioxines***

Deze parameters zijn niet berekend daar deze gerelateerd zijn aan andere parameters dan de samenstelling van de brandstof.

De vorming van stofemissies is afhankelijk van de aard van de brandstof en het verbrandingsproces, zie § 3.7.5.1. Een goed lopend verbrandingsproces zal minder stofemissies genereren. Tevens heeft de vorm en grootte van de ketel een invloed op de stofemissies: grote verticale ketels genereren minder fijnstofemissies dan kleine horizontale ketels. In grote verticale ketels is er meer kans dat kleine deeltjes aan elkaar gaan hechten en zo grovere stofdeeltjes vormen, welke makkelijker af te scheiden zijn. De aard van de vaste brandstof (vb. stof, pellets, blokken) bepaalt de verhouding bodemassen/vliegassen. Daarnaast bepaalt de aard van de brandstof en het verbrandingsproces de korrelgrootteverdeling van het gevormde stof.

Daar de berekening van de stofemissies op basis van de samenstelling niet mogelijk is, gelet op voorgaande, wordt voor de inschatting van de stofemissies gewerkt met de leveranciersgaranties, geverifieerd met meetgegevens van houtverbranding (metingen AMI, info leden BC). Leveranciers van installaties op hout geven aan dat bij een asgehalte tussen 0,5-1 gew%, met een cycloon waarden van 225 mg/Nm<sup>2</sup> bij 6% O<sub>2</sub> haalbaar zijn. Indien hogere asgehalten in de brandstof aanwezig zijn, zullen bijkomende maatregelen moeten genomen worden om dit emissieniveau te behalen. In hoofdstuk 4 zal verder ingegaan worden op haalbare/gegarandeerde stofemissieniveaus.

Wat de zware metalen betreft, kan aangenomen worden dat praktisch alle zware metalen met de stofemissies uitgestoten worden. Zware metalen condenseren op de stofdeeltjes of worden ingekapseld in vliegassedeeltjes. De meeste zware metalen, op kwik en arseen na, kunnen dan ook met de vliegassemissies worden afgevoerd.

Dioxine-emissies worden gevormd in aanwezigheid van o.a. chloor. Het chloor in de brandstof wordt voornamelijk omgezet tot zouten, die afgevoerd worden met de bodemassen. Een kleine fractie van het Cl geeft aanleiding tot dioxinevorming. Om lage dioxine-emissies te verzekeren is een chloorgehalte < 200 mg/kg aangewezen.

### ***f. Algemene conclusies uit de emissieberekeningen en de emissiegegevens voor ongereinigde rookgassen***

In samenspraak met het begeleidingscomité van deze studie is beslist om met de berekende NO<sub>x</sub>- en SO<sub>2</sub>-emissieniveaus verder te werken. Enerzijds omdat er momenteel niet voldoende praktijkgegevens publiek beschikbaar zijn en anderzijds een aantal brandstoffen (nog) niet verbrand worden in Vlaanderen. Er wordt hierbij geen onderscheid gemaakt inzake nieuwe of bestaande installaties, daar zowel nieuwe als bestaande installaties reeds uitgerust zijn met primaire maatregelen, met name optimalisatie van de verbranding en overfire air.

Er moet bij de interpretatie van de resultaten van deze studie rekening worden gehouden met het feit dat er met berekende waarden gewerkt wordt. De berekende waarden moeten dan ook gezien worden als de best haalbare inschatting. Door de opeenvolging van aannames wordt echter een zekere spreiding of foutenmarge in de berekening opgenomen.

Voor stofemissies zijn door de leveranciers (Vyncke en Typhoon) garantiewaarden gegeven welke geverifieerd zijn met meetgegevens van houtverbranding (metingen AMI, info leden BC) en haalbare emissiewaarden zoals aangegeven in techniefiches (LUSS) en LCP BREF (ANN., juni 2006). Hierbij wordt geen onderscheid gemaakt tussen bestaande en nieuwe installatie, of kleine en grote installaties. Er moet bij de interpretatie van deze waarden weliswaar rekening gehouden worden dat stofemissies voor grote verticale ketels mogelijk lager liggen dan kleine

horizontale ketels (zie boven). Informatie over de grootte van dit effect is onvoldoende beschikbaar.

Wat de SO<sub>2</sub> emissies betreft is uitgegaan van het S-gehalte in de brandstof, zonder onderscheid te maken tussen nieuwe en bestaande, kleine of grote installaties. Er wordt hierbij een omzettingpercentage van 60% verondersteld; het maximum dat is gerapporteerd in de literatuur.

### 3.7.2.2. Vloeibare hernieuwbare brandstoffen

#### a. Inventarisatie van emissiegegevens: stookinstallaties

Tabel 66 geeft een overzicht van de minimum en maximum emissiewaarden uit literatuur en meetrapporten betreffende de verbranding van dierlijke vetten en plantaardige olie, welke reeds toepassing kennen als vloeibare hernieuwbare brandstof in Vlaanderen. Ter vergelijking worden de emissies afkomstig van de verbranding van lichte stookolie aangegeven.

**Tabel 66:** Emissieconcentratie ranges voor verbranding in stookinstallaties van verschillende vloeibare brandstoffen.

Polluent	Lichte stookolie	Dierlijke vetten	Plantaardige olie
CO <sub>2</sub>	%	12,6	< 7,10
CO	mg/Nm <sup>3</sup> 3%O <sub>2</sub>	45	< 4-20
TOC	mg/Nm <sup>3</sup> 3%O <sub>2</sub>		< 4
SO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup> 3%O <sub>2</sub>	335-655	10-36 (5-10 MWth)
NO <sub>x</sub>	mg/Nm <sup>3</sup> 3%O <sub>2</sub>	120-250 (voor middel-grote installaties)	355-540 (5-10 MWth) 215 (1000 MWth <sup>1</sup> )
Stof	mg/Nm <sup>3</sup> 3%O <sub>2</sub>	< 225	120-250 (gemiddelde waarde van ca. 175) <sup>2</sup> 16 (1000 MWth)
Cd, Tl	mg/Nm <sup>3</sup> 3%O <sub>2</sub>		< 0,002-< 0,014
Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn	mg/Nm <sup>3</sup> 3%O <sub>2</sub>		< 0,002-< 0,45
Hg	mg/Nm <sup>3</sup> 3%O <sub>2</sub>		< 0,002-< 0,2
HF	mg/Nm <sup>3</sup> 3%O <sub>2</sub>		< 0,4-< 20
HCl	mg/Nm <sup>3</sup> 3%O <sub>2</sub>		0,2-< 5
PCDD/PCDF	ng TEQ/Nm <sup>3</sup> 3%O <sub>2</sub>		0,002-0,04
PCB	µg/Nm <sup>3</sup> 3%O <sub>2</sub>		< 0,31
Naftaleen	µg /Nm <sup>3</sup> 3%O <sub>2</sub>		3,36
Acenaftyleen	µg /Nm <sup>3</sup> 3%O <sub>2</sub>		1,83
Acenaftheen	µg /Nm <sup>3</sup> 3%O <sub>2</sub>		0,61
Fenanthreen	µg /Nm <sup>3</sup> 3%O <sub>2</sub>		< 0,31
Fluoreen	µg /Nm <sup>3</sup> 3%O <sub>2</sub>		0,55
Anthraceen	µg /Nm <sup>3</sup> 3%O <sub>2</sub>		1,28
Fluorantheen	µg /Nm <sup>3</sup> 3%O <sub>2</sub>		0,33
			< 0,31
			1,14
			< 0,34

1. Rookgasreiniging niet gekend, maar vermoedelijk wel aanwezig daar installatie uit electriciteitssector komt
2. Gebaseerd op nieuwe, of vervangen, branders (Erbrink et al., 2003)

#### Bronnen:

- Ecolas 2006 (5 installaties op dierlijke vetten van 5-10 MWth en 2 van 1000 MWth),
- Erbrink et al. 2003 (33 metingen op installaties op plantaardige olie en gerecycleerde frituurolie van 4-7 MWth, ook gegevens 25 metingen op lichte stookolie),
- BREF slachthuizen (metingen verbranding dierlijk vet in 3 zware stookolie-branders met resp. 1,95 MWth, 2,5 MWth en 3.19 MWth),
- BBT glastuinbouw 2005 (gegevens lichte stookolie),
- gegevens BC (3 metingen op installatie 5-10 MWth op dierlijk vet)

Erbrink et al. (verbranding van frituurvetten en plantaardige olie) geeft aan dat in bestaande installaties met een nieuwe (of vervangen) brander<sup>8</sup> een emissiegrenswaarde voor NO<sub>x</sub> van 200 mg/Nm<sup>3</sup> bij 3% O<sub>2</sub> kan behaald worden. Ook voor nieuwe installaties is deze waarde haalbaar. Lagere emissieniveaus zijn wel gemeten bij nieuwe installaties, maar kunnen niet verzekerd worden voor alle nieuwe lage NO<sub>x</sub>-branders op plantaardige olie en frituurvetten.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van beschikbare emissiefactoren voor SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> en fijn stof voor het meeverbranden van vloeibare biomassa, zoals deze worden gerapporteerd in een ECN rapport (ECN, juni 2006). De emissiefactoren zijn uitgedrukt in g/GJ en afkomstig van een elektriciteitscentrale in Nederland waarbij de bio-oliestook separaat werd gemeld. Het gaat hier over een grote centrale van 1280 MW.

**Tabel 67:** Vloeibare hernieuwbare brandstof: emissiefactoren SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> en fijn stof voor coverbanden van vloeibare hernieuwbare brandstof in een stookinstallatie (ECN, juni 2006): emissiefactoren in g/GJ afkomstig van een elektriciteitscentrale waarbij de emissies van de hernieuwbare brandstoffen apart zijn gerapporteerd. Rookgasreiniging is onbekend.

	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Fijn stof
Gemeten 1	4,4 g/GJ	66,5 g/GJ	12,2 g/GJ
Gemeten 2	2,6 g/GJ	53,8 g/GJ	7,2 g/GJ
gemiddeld	ca. 4 g/GJ ca. 15 mg/Nm <sup>3</sup> bij 3%O <sub>2</sub>	ca. 60 g/GJ ca. 220 mg/Nm <sup>3</sup> bij 3%O <sub>2</sub>	ca.10 g/GJ ca. 40 mg/Nm <sup>3</sup> bij 3%O <sub>2</sub>

In andere literatuurbronnen<sup>9</sup> beschikbaar over de verbranding van biodiesel op basis van dierlijk vet of gebruikte plantaardige olie in mobiele dieselmotoren wordt vastgesteld dat het gebruik van biodiesel resulteert in lagere emissies van CO, HC en roet. Over de emissies van NO<sub>x</sub> zijn de conclusies verdeeld: ofwel liggen deze emissies iets hoger, ofwel zijn ze hetzelfde als bij gebruik van fossiele diesel. Deze conclusies gelden zowel voor biodiesel op basis van plantaardige olie als voor biodiesel op basis van afvalstoffen zoals dierlijk vet en gebruikte plantaardige olie of gebruikte frituurvetten en -olie.

#### **b. Inventarisatie van emissiegegevens: motoren**

Tabel 68 geeft een overzicht van de minimum en maximum emissiewaarden uit literatuur en meetrapporten van leveranciers en operatoren betreffende de verbranding van dierlijke vetten en plantaardige olie, in motoren. Ter vergelijking worden de emissies afkomstig van het gebruik van zware stookolie aangegeven.

<sup>8</sup> Hier gaat met uit van lage NO<sub>x</sub> branders

<sup>9</sup> Mondelinge communicatie Luc Pelkmans VITO;  
Envirotox (2005). Testemissiemetingen op de uitlaat van de DORMAN dieselmotor. Studie in opdracht van SODEB Moeskroen;  
J. F. McDonald (1997). Evaluation of a Yellow grease methyl ester and petroleum diesel fuel blend. University of Minnesota Center for diesel research. Final report to the agricultural utilization research institute.;  
J. Van Gerpen (1996). Comparison of the engine performance and emissions characteristics of vegetable oil-based and animal fat-based biodiesel. Iowa state University.;  
A. Päivi et al. (2000?). Emissions from heavy-duty engine with and without aftertreatment using selected biofuels. Fins onderzoek.;  
A. Päivi et al.(2000). IEA/AMF Annex XIII: emission performance of selected biodiesel fuels – VTT's contribution. Research report ENE/33/2000.



**Tabel 68:** *Emissieconcentraties verbanding in bestaande dieselmotoren 0,5-20 MW van verschillende vloeibare brandstoffen (Wärtsila (scheepsmotoren op ppo en dierlijke vetten), Electrawinds (dierlijk vetten 4x3,2 MW), Euromot (biodiesel 1 tot >50 MW), LCP BREF (diesel)), bij 15% O<sub>2</sub>*

Polluent mg/Nm <sup>3</sup> 15%O <sub>2</sub>	Zware stookolie	Dierlijke vetten	Plantaardige olie	Biodiesel
NOx	Eerste generatie low NOx motoren: < 2300 Tweede generatie generatie low NOx motoren: 1400-2000 na SCR: 130-150	Na SCR: 55-155	1-5 MWth: 2072 5-20 MWth: 2340 20-35 MWth: 2382	1-5 MWth: 2000 5-50 MWth: 2100 > 50 MWth: 2200
Stof	-	na filter < 15	ca. < 20-30	10-15

Bij kleinere capaciteiten worden lagere NOx-emissies aangegeven. Dit is te verklaren doordat bij kleinere motoren, met kleinere cilinders, de rookgassen meer in contact komen met de cilinderwanden en hierdoor meer gekoeld worden. Zoals reeds aangegeven geven koelere verbrandingsgassen lagere NOx-emissies.

De LCP BREF (ANN., juni 2006) vermeldt voor de oudere generatie dieselmotoren van > 20 MW op zware stookolie – eerste generatie lage-NOx-motoren geproduceerd tot 2000 – een typisch haalbaar emissieniveau van < 2300 mg/Nm<sup>2</sup> bij 15% O<sub>2</sub>.

Nieuwe dieselmotoren op conventionele diesel kunnen veel lagere emissieniveaus halen:

- 600-1200 mg NOx/Nm<sup>3</sup> op gewone diesel bij 15% O<sub>2</sub> (nota ECN augustus 2008),
- de BREF vermeldt 1388-1528 mg NOx/Nm<sup>3</sup> bij 15%O<sub>2</sub> voor dieselmotoren > 20 MWop gewone diesel en zware stookolie.

Deze waarden refereren naar de dieselmotoren zoals deze vandaag geproduceerd worden, zijnde de tweede generatie lage-NOx-motoren op fossiele brandstoffen.

Dierlijke vetten en plantaardige oliën worden in scheepsmotoren gestookt, welke voorzien zijn voor het stoken van zware stookolie (low quality heavy fuel). Dit is een gevolg van de karakteristieken van hernieuwbare brandstoffen. Ze worden enerzijds gekenmerkt door een gelijkaardige viscositeit als zware stookolie (zie § 3.3.1), anderzijds hebben ze hogere vlampunten en bevatten ze meer verontreinigingen.

Bij verbranding van zware stookolie in scheepsmotoren worden (anno 2008) emissieniveaus behaald die in overeenstemming zijn met de IMO en World bank guidelines<sup>10</sup>. Fabrikanten rapporteren emissiewaarden van 1460-2000 mg NOx/Nm<sup>3</sup> (Wärtsilä en ABC motoren). Bij het gebruik van plantaardige olie en dierlijke vetten in deze scheepsmotoren worden echter verhoogde NOx-emissieniveaus vastgesteld (waarden zie Tabel 68). Tegelijk blijkt dat de motoren een lager brandstofverbruik hebben wanneer ze op biofuels worden bedreven. De reden hiervoor is mogelijk de versnelde warmte-vrijstelling te wijten aan de aanwezigheid van zuurstof in de hernieuwbare brandstof welke fungeert als katalysator van de verbranding. Dit resulteert in een lager verbruik, maar ook in hogere temperaturen en drukken, en dus hogere NOx-emissies (Juoperi K., 2008).

<sup>10</sup> De World bank guidelines geven 1460 (< 400 mm cilinderdiameter) tot 1850 (≥ 400 mm cilinderdiameter) mg/Nm<sup>3</sup> bij 15% O<sub>2</sub> voor motoren op vloeibare brandstoffen

### *c. Elementaire samenstelling vloeibare hernieuwbare brandstof – conventionele brandstof*

Een vergelijking van enkele fysische en chemische parameters tussen hernieuwbare brandstoffen en conventionele brandstoffen is gegeven in Tabel 69. Hieruit blijkt dat het om (chemisch) schone brandstoffen gaat: de gehalten aan chloor, zwavel, stikstof, vaste deeltjes, zware metalen zijn laag.

De koolstofinhoud van vloeibare hernieuwbare brandstoffen is wat lager en de zuurstofinhoud hoger. Dit verklaart de lagere calorische waarde. De hogere zuurstofgehalten in de brandstof zorgen voor een versnelde warmte-vrijstelling in de motor, wat leidt tot hogere temperaturen en drukken in de motor. Het waterstofgehalte is gelijk.

De gerapporteerde zwavelinhoud van hernieuwbare olie is veel lager dan de maximaal toegelaten concentratie in zware stookolie en de kwaliteitsdrempelwaarde voor lichte stookolie. Deze lage S-gehalten leiden dan ook tot lagere SO<sub>2</sub>-concentraties in de rookgassen.

De N-inhoud van hernieuwbare olie is over het algemeen vergelijkbaar met of lager dan deze van lichte stookolie, op sommige fracties dierlijke vetten na. In stookinstallaties leidt dit dan ook tot lagere NO<sub>x</sub> emissies. Experimenten gedaan in de studie van Erbink et al. (Erbink, 2003) laten zien dat de NO<sub>x</sub>-emissies in branders niet alleen afhangen van de soort hernieuwbare brandstof, maar ook afhankelijk zijn van de installatie en de procesinstelling. Hier wordt ook aangegeven dat de ouderdom van de ketel en branders eveneens de NO<sub>x</sub>-emissies beïnvloeden.

Bij motoren is dit verhaal anders. Hierbij worden hogere NO<sub>x</sub>-emissies waargenomen t.o.v. motoren op conventionele diesel. Dit kan verklaard worden door het feit dat bij gebruik van hernieuwbare brandstoffen in motoren de verbranding sneller verloopt in vergelijking met het gebruik van fossiele brandstoffen. Dit kan mogelijk verklaard worden door de hogere O<sub>2</sub>-gehalten aanwezig in bio-olieën. Dit geeft aanleiding tot nog hogere temperaturen en drukken in de cilinders welke resulteren in hogere thermische NO<sub>x</sub> emissies. Tevens kan de niet-homogene samenstelling van hernieuwbare brandstoffen leiden tot het moeilijker optimaliseren van de verbranding. Een slecht lopende verbranding leidt ook tot hogere NO<sub>x</sub> emissies.

Weinig informatie is beschikbaar over de Cl-inhoud van de verschillende brandstoffen. De meeste bronnen rapporteren een Cl-gehalte in dierlijk vet dat veel lager is dan de Cl-gehalten van conventionele brandstoffen. Deze lage Cl-gehalten geven dan ook lage HCl-concentraties in de rookgassen.

Tevens worden de metaalconcentraties in de brandstoffen vergeleken. De metaalgehalten in zware stookolie zijn meestal laag. De enige metalen die mogelijk een probleem kunnen vormen zijn Ni en V. De gerapporteerde concentraties van deze metalen in vetten liggen ver onder de drempelwaarden voor lichte stookolie.

**Tabel 69:** Samenstelling van verschillende vloeibare brandstoffen (Ecolas 2006, Infomil, BREF slachterijen en dierlijke bijproducten, BBT stookinstallaties, Electrawinds, OVAM, Desmet-Ballestra, infomil, Erbink 2003, Rendac, smilde, oleon, mittelbach, senternovem)

Component		Zware stookolie	Lichte stookolie	Dierlijke vetten	Plantaardige olie	Frituurvet
stookwaarde	MJ/kg	40	42.7	39	35	39
viscositeit (40°C)		17-40	4	28	38	40
water	gew.%	0,02	0,4	0,1-5	0,05-0,08	0,16-1
Asgehalte	gew%	<0,02-0,08	0,0024-0,05	0,001-0,06	< 0,01-0,4	< 0,01-0,66
C	gew.% dav	83,96	86	70,0-76,6	78	76
H	gew.% dav	11,41	13	11,0-11,9	12	12
O	gew.% dav	0,4	0,4	10,12-19,00	10	11
N	gew.% dav	0,3-1.4	0,02-0,07	0,02-0,59	0,01	0,02
N	mg/kg		200	< 500-1.502	100	200
S	gew.% dav	0,73-<1	0,1-0,005	0,003-< 0,05	0,01-0,02	0,01
S	mg/kg		2000	< 10-105	< 2	2,8-100
P	mg/kg			< 10-112	15-600	< 10
Cl	gew.% dav		0,018-0,002	0,001-< 0,05		5*10 <sup>-7</sup>
Cl	mg/kg			20	61	19
F	gew.% dav			0,002-< 0,1	0,0015	
Al	gew.% dav			0,0017	0,005	0,00002
Ba	mg/kg DS			2		
Ca	gew.% dav			0,0001	0,00002	0,00019
Cd	mg/kg DS		0,01	0,01-0,10		
Cr	mg/kg DS		1	0,22-1	< 0,09	< 0,09
Cu	mg/kg DS		1	< 0,1-2	0,15	0,22
Fe	mg/kg DS	< 5-13		26		
Hg	mg/kg DS		0,01	< 0,01-< 0,1		
Mg	mg/kg DS			5		
Mn	mg/kg DS		1	< 0,1-1	< 0,01	0,05
Na	mg/kg DS	< 5-25		31		
Ni	mg/kg DS	10-41	1	< 0,1-3	0,37	0,05
P	mg/kg DS			110		
Pb	mg/kg DS		1	< 0,1-1	< 0,1	< 0,1
Sb	mg/kg DS		1	< 0,1-1	< 0,3	< 0,3
Si	mg/kg DS			8		
Sn	mg/kg DS		1	< 0,1-1		
V	mg/kg DS	15-350	1	< 0,03-< 5	< 0,03	< 0,03
Zn	mg/kg DS			<4		

Wat het toepassen van plantaardige olie in dieselmotoren betreft, zal dit de aanwezigheid van niet-verbrande koolwaterstoffen, koolmonoxide en fijn stof reduceren t.o.v. het gebruik van diesel. Plantaardige olie is meer geoxideerd dan conventionele brandstoffen waardoor een meer volledige verbranding verkregen wordt. Hierdoor komt er minder vast koolstof in de verbrandingsgassen terecht.

#### ***d. Algemene conclusies uit de vergelijking tussen conventionele en hernieuwbare vloeibare brandstoffen***

Tabel 66 toont dat de NO<sub>x</sub>-emissies bij stookinstallaties tussen lichte stookolie en PPO en friurolie niet noemenswaardig verschillen. Dit is niet verwonderlijk daar de N-samenstelling en de stookwaarde van hernieuwbare vloeibare brandstoffen gelijkaardig zijn aan deze van lichte stookolie. Bij gelijkaardige N-gehalten en stookwaarde – en gelijke verbrandingsomstandigheden – worden min of meer dezelfde NO<sub>x</sub>-emissies verwacht.

Voor motoren wordt door constructeurs vastgesteld dat bij gebruik van bio-oliën deze meer NO<sub>x</sub> emitteren dan in geval van zware stookolie. Dit kan verklaard worden door het feit dat bij gebruik van hernieuwbare brandstoffen in motoren de verbranding sneller verloopt in vergelijking met het gebruik van fossiele brandstoffen. Dit geeft aanleiding tot nog hogere temperaturen en drukken in de cilinders welke resulteren in hogere thermische NO<sub>x</sub>-emissies. Tevens kan de niet-homogene samenstelling van hernieuwbare brandstoffen leiden tot het moeilijker optimaliseren van de verbranding. Een slecht lopende verbranding leidt ook tot hogere NO<sub>x</sub>-emissies.

De te verwachten NO<sub>x</sub>-emissies kunnen niet volgens een gelijkaardige methode berekend worden als bij vaste biomassa daar bij vloeibare en gasvormige brandstoffen de thermische NO<sub>x</sub>-emissies een grotere bijdrage leveren in de totale NO<sub>x</sub>-emissies. Thermische NO<sub>x</sub>-emissies zijn moeilijk te berekenen (ANN., juni 2006).

De S-gehalten in vetten en oliën zijn laag wat resulteert in lage SO<sub>2</sub> emissies; < 40 mg SO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup> bij 3% O<sub>2</sub>.

Metingen wijzen ook op lage stofemissies bij het verbranden van vloeibare hernieuwbare brandstoffen, m.n. < 10-45 mg/Nm<sup>3</sup> bij 3%O<sub>2</sub>.

De gehalten aan chloor en zware metalen liggen over het algemeen lager dan de drempelwaarden voor lichte stookolie. Er kan dus aangenomen worden dat deze parameters geen problemen zullen vormen naar emissies toe.

#### ***3.7.2.3. Gasvormige hernieuwbare brandstoffen***

Biogas en stortgas kennen reeds enkele toepassingen in Vlaanderen. Onderstaande tabel geeft de minimum en maximum emissiewaarden weer die teruggevonden werden in de beperkt beschikbare literatuur en meetrapporten.

##### ***a. Inventarisatie van emissiegegevens: stookinstallaties***

Er zijn ons 3 bedrijven bekend in Vlaanderen die biogas (geproduceerd uit eigen waterzuiveringsslib) gebruiken in gasbranders (gegevens emissiejaarverslagen). Uit de emissiejaarverslagen van twee van deze installaties konden gedetailleerde gegevens m.b.t het vermogen en de emissies worden afgeleid. Ter vergelijking worden de emissies afkomstig van de verbranding van aardgas in bestaande kleine/middelgrote installaties aangegeven (Derden A. et al., juni 2005; Goovaerts L. et al., 2002).

**Tabel 70:** Emissieconcentraties verbranding in gasbranders op biogas. De gegeven waarden weerspiegelen de waarden van metingen op 2 biogasketels, resp. 3 en 13,6 MW, bij 3%

Polluent mg/Nm <sup>3</sup> 3% O <sub>2</sub>	3MWth	13,6 MWth	Aardgas < 30MWth
CO	166	6,8	1-6
NO <sub>2</sub>	63	154	150-180
SO <sub>2</sub>	3200	16,9	-
Stof	-	1,4	-

**b. Inventarisatie van emissiegegevens: motoren en turbines**

Biogas kent meer toepassingen in biogasmotoren (WKK-toepassingen). In onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van de beschikbare gegevens. Hierbij zijn tevens ter vergelijking de emissieniveaus voor aardgasmotoren weergegeven, zoals aangegeven door constructeurs en in de BBT stookinstallaties en stationaire motoren (Goovaert L. et al., juni 2002).

**Tabel 71:** Emissieconcentraties verbranding in gasmotoren ≤ 1MWe van verschillende gasvormige brandstoffen. De gegeven ranges weerspiegelen de waarden van metingen op 2 biogasmotoren en 2 stortgasmotoren van 2006, 8 emissiemetingen op stortgas van 2007 en 5 metingen op stortgas, 2004, geverifieerd met constructeurgaranties Wärtsilä en Jenbacher (mei 2008) bij 15%

Polluent	Aardgas	Biogas	Stortgas	
CO	mg/Nm <sup>3</sup> 15% O <sub>2</sub>	245	215-320	115-300
NO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup> 15% O <sub>2</sub>	90-190	60-190*	50-190
SO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup> 15% O <sub>2</sub>	-	-	25-85

\* Duitse meetresultaten op 7 biogasmotoren met een vermogen <350 kWth geven zeer uiteenlopende NOx-emissies: m.n. 170-1740 mg/Nm<sup>3</sup> bij 15% O<sub>2</sub>, mogelijk te wijten aan slechte procescondities (Bayerische Landesamt für Umweltschutz, oktober 2003).

Constructeurs melden dat het behalen van emissiegrenswaarden lager dan 190 mg/Nm<sup>3</sup> bij 15%O<sub>2</sub> gepaard gaan met een efficiëntieverlies van 1-3% (pers. communicatie Wärtsilä, mei 2008, zie ook § 4.5.3). Het S-gehalte in het biogas moet voor motoren beperkt blijven tot < 300 ppm (= ca. 40 g SO<sub>2</sub>/GJ biogas) (E. Van Wingen, 2005).

ECN (Rabou et al, oktober 2006) meldt voor gasturbines > 20 kWe op synthegas, afkomstig van vergassing van houtpellets, NOx-emissies lager dan 25 ppm of ca. 50 mg/Nm<sup>3</sup> bij 15%O<sub>2</sub>.

**c. Elementaire samenstelling van gasvormige hernieuwbare brandstof en conventionele brandstof**

Het methaangehalte in het biogas kan variëren van 45-70%, maar is typisch 60-65%. Biogas bestaat tevens uit koolstofdioxide (30-45%), stikstof (< 10% vol.), zuurstof (< 2% vol) en het ongereinigde biogas bevat sporen van waterstofsulfide (tot 0,6% ofwel 6000 ppm H<sub>2</sub>S), ammoniak en koolstofmonoxide, halogenen en siloxanen. Bovendien is het ruwe biogas verzadigd met water. Met name H<sub>2</sub>S levert problemen in gasmotoren. Biogas wordt daarom vooraf ontzwaveld om te voldoen aan de specificaties van de gasmotor en de vorming van SO<sub>2</sub>-emissies bij verbranding te beperken.

Het methaangehalte in het stortgas kan variëren van 40-60%. Daarnaast bevat ongereinigd stortgas 30-40% koolstofdioxide, een klein percentage zuurstof (< 0,2%) en wat H<sub>2</sub>S (< 100 ppm).

Toepassing van stortgas in gasmotoren geeft geen specifieke technische problemen. Ontzweving van het stortgas is echter noodzakelijk om het vorming van SO<sub>2</sub>-emissies bij verbranding te beperken.

Deze variaties in samenstelling van bio/stortgas maken het moeilijk om de verbranding te optimaliseren. Voor het optimaliseren van de verbranding moet de gas/verbrandingsluchtmenger de CH<sub>4</sub>- en gasdrukfluctuaties kunnen opvangen om een ideale luchtfactor ( $\lambda$ ) te verkrijgen. Bij een te hoge luchtfactor zullen de NO<sub>x</sub>-emissies wel laag zijn, maar geeft dit een risico op onvollende verbranding (misfiring).

*Tabel 72: Specificaties aardgas, biogas en stortgas*

Component	aardgas	biogas	stortgas
Stookwaarde (MJ/Nm <sup>3</sup> )	32-38	21,5-23,5	14-22
Stikstof (vol%)	15	< 10	< 6
Methaan (vol%)	80	60	40-60
CO <sub>2</sub> (vol%)	1	40	30
Zwavel (mg/Nm <sup>3</sup> gas)	< 5	< 250	< 5-280

#### ***d. Algemene conclusies uit de vergelijking tussen conventionele en hernieuwbare gasvormige brandstoffen***

Stortgas en biogas blijken een lager N-gehalte te hebben. Men zou veronderstellen dat deze lage N-gehalten in lagere NO<sub>x</sub>-emissies zou resulteren.

Er zijn echter weinig praktijkgegevens beschikbaar omtrent biogas in branders. De gegevens voorhanden vertonen lage NO<sub>x</sub>-emissies, vergelijkbaar met deze bij aardgasverbranding. Dit is ook te verwachten daar de NO<sub>x</sub>-emissies in branders bij gelijkaardige stookwaarde en samenstelling van de (bio)brandstof meestal niet afhangen van de soort (bio)brandstof, maar afhankelijk zijn van de installatie en de procesinstelling. Biogas wordt gekenmerkt door een lagere stookwaarde wat resulteert in een lagere vlamtemperatuur wat tot lagere NO<sub>x</sub>-emissies kan leiden in vergelijking met aardgas.

Voor motoren worden gelijkaardige en lagere NO<sub>x</sub>-emissies gerapporteerd (zie boven). De hogere CO-emissies bij motoren zouden verklaard kunnen worden door de niet-homogene samenstelling van biogassen welke de optimalisatie van de verbranding bemoeilijken. Ook de hoge NO<sub>x</sub>-emissies uit de Duitse bron zijn mogelijk hieraan toe te wijzen. Gasmotoren zijn moeilijk af te regelen; het is steeds een keuze tussen lage NO<sub>x</sub>-emissies of hogere efficiënties en dus lage CO en onverbrande (zie hoofdstuk 4).

Ook voor toepassingen van biogas in turbines zijn zeer weinig meetgegevens voorhanden. Blijkbaar worden ook bij toepassing van biogas in turbines zeer lage NO<sub>x</sub>-emissies gegenereerd, ca. 50 mg/Nm<sup>3</sup> bij 15% O<sub>2</sub>. Alle nieuwe gasturbines worden zo ontworpen dat deze uitgerust zijn met dry low NO<sub>x</sub>-branders waarmee emissies < 75 mg/Nm<sup>3</sup> bij 15% O<sub>2</sub> haalbaar zijn (zie voor meer informatie ook hoofdstuk 4 § 4.6.3), wat dit laag gerapporteerd NO<sub>x</sub>-emissieniveau kan verklaren.

Ontzwevend biogas en stortgas bevat over het algemeen zeer weinig S en de verbranding emitteert daarbij lage concentraties SO<sub>2</sub>; < 150 mg/Nm<sup>3</sup> bij 3% O<sub>2</sub> (ECN, maart 2008).

### 3.7.3. Emissies naar water

Er kunnen verschillende, doch beperkte, afwaterwaterstromen vrijkomen bij het verbranden van hernieuwbare brandstoffen:

- afvalwater afkomstig van de afwatering van de hernieuwbare brandstofopslagplaats;
- oppervlaktewater van het bedrijfsterrein;
- condensaat van de drooginstallatie;
- condensaatstromen van rookgascondensatie;
- afvalwater uit de boiler.

De verontreinigingen in deze afvalwaterstromen geven geen problemen.

### 3.7.4. Afval en residuen

Bij de verbranding van vaste brandstoffen worden er afval en residu's gegenereerd als gevolg van de werking van de installatie en andere technieken die worden gebruikt:

- Resten van onderhoud: resten geproduceerd tijdens het onderhoud van de ketel. Roet en vliegias moeten regelmatig uit de ketel worden verwijderd mbv. Stoom- of waterblazers om corrosie en verslakking te verhinderen;
- Afvalwaterbehandelingslib: afval gevormd door het behandelen van water voor de stoomcyclus. De behandeling van water voor stoomproductie omvat verschillende processen zoals flocculatie, verzachten, filtratie en omgekeerde osmose. De behandelingsmethoden genereren slib. Dit slib wordt ook geproduceerd tijdens de behandeling van de verschillende afvalwaterstromen van de verbrandingsinstallatie en randapparatuur;
- Gebruikte katalysator (SCR proces)/filtermateriaal: SCR katalysatoren worden gebruikt om de emissie van NO<sub>x</sub> te reduceren. De katalysator moet af en toe vervangen worden (na enkele jaren in dienst) vanwege de desactivatie. Dioxines kunnen verwijderd worden door gebruik te maken van een actief kool filter. De actieve kool in de filter moet periodiek worden vervangen. Dit systeem wordt echter weinig toegepast voor de verwijdering van dioxines uit rookgassen.

Residuen van het verbrandingsproces zijn assen (vliegias en bodemas) en bijproducten van de rookgasreiniging.

- Bodemas en/of bodemslak: bodemassen zijn onverbrande mineralen (waarin zich onverbrande C-deeltjes kunnen bevinden) die op de bodem van de ketel zijn terechtgekomen. Als de verbrandingstemperatuur de astemperatuur overschrijdt, blijft het as in een gesmolten toestand tot het van de bodem van de ketel wordt gehaald als slak;
- Bedas: een wervelbedverbrandingsinstallatie voor vaste brandstoffen produceert bedas, een mengsel van bedmateriaal en brandstofas. Bedas wordt verwijderd van de bodem van de wervelbed verbrandingskamer;
- Vliegias: dit is het vast onverbrand materiaal dat samen met de verbrandingsgassen de ketel verlaat;

Om hoge emissies van SO<sub>2</sub> naar de atmosfeer te vermijden worden verbrandingsinstallaties soms voorzien van een rookgasontzwavelingsinstallatie. De verschillende ontzwavelingstechnieken, tegenwoordig in gebruik, resulteren in de vorming van een aantal resten en bijproducten. Natte kalk/kalksteen scrubbers bijvoorbeeld produceren gips als bijproduct, droge scrubbers zorgen voor een mengsel van ongereageerd sorbent (vb. kalk, kalksteen, natriumcarbonaat, calciumcarbonaat), zwavelzouten en vliegias als residu. Om dioxine-emissies te vermijden kan

actief kool worden geïnjecteerd. Dit actief kool wordt vervolgens afgevangen met een doek- of electrofilter.

As en rookgasontzwavelingsresidu's zijn over het algemeen de grootste hoeveelheden resten die bij stookinstallaties ontstaan. Vliegassen van elektriciteitscentrales worden als additief gebruikt in de cementproductie. Bodem- en bedassen kunnen als aggregaat in beton, asfalt of afvalstabilisatie worden gebruikt indien hun eigenschappen dit toelaten. Gips, een bijproduct van de ontzwaveling, wordt veel gebruikt in de productie van gipsplaat en heeft bijna volledig de plaats van natuurlijk gips ingenomen.

In de Vlaamse wetgeving worden deze residu's initieel beschouwd als afval. Indien ze voldoen aan de voorwaarden van VLAREA, en er afzet is, verliezen ze het statuut van afvalstof en kunnen gebruikt worden als secundaire bouwstof. De industrie tracht de productie van resten te minimaliseren en/of te hergebruiken in andere industriële sectoren zoals de cement- en bouwindustrie. Indien dit niet mogelijk is, moeten deze residu's worden gestort. Assen van verbrandingsinstallaties kunnen ook worden ingezet als meststof. Dit moet echter gebeuren via een aparte procedure waar de minister van Leefmilieu het gebruikscertificaat aflevert.

### 3.7.5. Geluid en trillingen

Geluid en trillingen worden vaak geproduceerd bij de werking van de verbrandingsinstallaties. De belangrijkste bronnen van geluid zijn:

- het transport en de behandeling van brandstof;
- transport resten en bijproducten;
- het gebruik van grote pompen en kleppen;
- de motoren of turbines;
- de ketels en de stoomturbine of -motor voor elektriciteitsproductie;
- de koeltechnieken.

Nieuwe installaties worden zo ontworpen dat lage geluids- en trillingsniveaus gehaald worden. Goed onderhoud kan de oorzaken van geluidsoverlast voorkomen. Vaak gebruikte geluidsreducerende technieken zijn:

- Het inkapselen van lawaaiige installaties met geluidsabsorberend materiaal;
- Het gebruik van anti-trillingssteunen en interconnecties voor de installaties;
- De verandering van de frequentie van het geluid.

In normaal bedrijf is het lawaai van de installatie onder controle of binnen de vergunde normen. Bij incidenten kan er sporadisch geluidsoverlast optreden door bepaalde onderdelen van de installaties (bv. veiligheidskleppen, stoomontspanning,...).

De invloed van het geëmitteerde geluid blijft meestal beperkt tot een relatief klein gebied rond de verbrandingsinstallatie. De meest frequente problemen zijn de last voor mensen die in de nabijheid van de installatie wonen, vooral 's nachts.



**Hoofdstuk 4****BESCHIKBARE MILIEUVRIENDELIJKE  
TECHNIEKEN**

*In dit hoofdstuk lichten we de verschillende maatregelen toe die op verbrandingsinstallaties op hernieuwbare brandstoffen geïmplementeerd kunnen worden om milieuhinder te voorkomen of te beperken.*

*De milieuvriendelijke technieken worden besproken per brandstof- en installatietype: vast – vloeibaar en gasvormig, stookinstallaties en motoren. Bij de bespreking van de milieuvriendelijke technieken verwijzen we naar de technische fiches voor details betreffende de werking, milieuaspecten en de kosten.*

*Over het algemeen blijken enkel – en beperkte – gegevens beschikbaar te zijn betreffende kleine en middelgrote installaties. Deze gegevens zijn afkomstig van leden van het begeleidingscomité, de constructeurs van installaties, en gegevens uit voorgaande gerelateerde BBT-studies, ‘BBT-studie voor stookinstallaties en stationaire motoren’ en ‘BBT-studie voor de glastuinbouw’.*

*Voor grote installaties blijkt enkel informatie uit het ‘BAT reference document for large combustion plants (LCP BREF)’ (ANN., juni 2006) beschikbaar. Voor mogelijke milieumaatregelen en haalbare emissieniveaus voor grote installaties wordt dan ook verwezen naar de LCP BREF.*

*De informatie in dit hoofdstuk vormt de basis waarop in hoofdstuk 5 de BBT-evaluatie zal gebeuren. Het is dus niet de bedoeling om reeds in dit hoofdstuk (hoofdstuk 4) een uitspraak te doen over het al dan niet BBT zijn van bepaalde technieken. Het feit dat een techniek in dit hoofdstuk besproken wordt, betekent m.a.w. niet per definitie dat deze techniek BBT is.*

**4.1. Emissiebeperkende maatregelen naar lucht bij het verbranden van vaste hernieuwbare brandstoffen in stookinstallaties****4.1.1. Reductie van stofemissies**

Zoals aangegeven in hoofdstuk 3 (§ 3.7.1) geeft de asfractie van de hernieuwbare brandstoffen aanleiding tot stofemissies. Vliegassen worden opgevangen in de ontstopping. De uiteindelijk geëmitteerde stoffractie bestaat voornamelijk uit stofdeeltjes met een diameter < 1 µm.

Om de vorming van stofemissies te beperken dient in eerste instantie te worden gelet op een optimale verbranding. Een goed lopend verbrandingsproces zal minder stofemissies genereren. Tevens heeft de vorm en grootte van de ketel een invloed op de stofemissies: grote verticale ketels genereren minder fijnstofemissies dan kleine horizontale ketels. In grote verticale ketels is er meer kans dat kleine deeltjes aan elkaar gaan hechten en zo grovere stofdeeltjes vormen, welke makkelijker af te scheiden zijn. Ook de aard van de vaste brandstof (vb. stof, pellets, blokken) bepaalt mede de vorming van de hoeveelheid partikels in de rookgasstroom. Met name de verhouding bodemassen/vliegassen wordt beïnvloed hierdoor. Tot slot bepaalt de aard van de brandstof en het verbrandingsproces de korrelgrootteverdeling van het gevormde stof. Die verdeling bepaalt de efficiëntie van de nageschakelde ontstoppingstechnieken.

Voor het reduceren van de uiteindelijke stofuitstoot bij roosterverbranding en wervelbedverbranding worden zowel (multi)cyclonen (zie bijlage 4 TF 11), elektrostatische precipitatoren (ESP, zie bijlage 4 TF 12) als doekfilters (zie bijlage 4 TF 13) gebruikt. De multi-cycloon verwijderd hoofdzakelijk de deeltjes met een diameter > 10 µm, met een verwijderingsrendement van 85-95%. Het verwijderingsrendement voor stof van ESP bedraagt > 99,5% en voor een doekfilter >99,95% (ANN., juni 2006).

#### *Kleine installaties (< 5MWth)*

Voor installaties die werken op een brandstof met max. 0,5 tot 1% as (=m.n. onbehandeld hout) zijn met een multicycloon emissieniveaus lager dan 225 mg/Nm<sup>3</sup><sup>11</sup> bij 6% O<sub>2</sub> haalbaar. Bij gebruik van brandstoffen met een hoger asgehalte (spaanplaten, grassen, diermeel, mest, slib) kan ook gebruik gemaakt worden van verdergaande maatregelen zoals een ESP of doekenfilter om de stofemissies onder controle te houden (pers. communicatie Vyncke, Typhoon en Wärtsila, 2008).

Bij het gebruik van een doekenfilters dient gelet te worden op mogelijk brandgevaar, door gloeiende asdeeltjes. Dit kan beperkt worden door het voorschakelen van een cycloon, om vonken af te vangen en/of door koeling van de rookgassen. De maximale werkingstemperatuur van de doekenfilter wordt bepaald door het gebruikte filtermedium. De efficiëntie van de doekenfilter hangt af van het gebruikte doekenmateriaal en de doekbelasting (m<sup>3</sup> rookgas/m<sup>2</sup>.h). De restemissies zijn onafhankelijk van de inkomende concentratie.

Met een doekenfilter kunnen emissies < 5-20 mg/Nm<sup>3</sup> worden behaald bij 6% O<sub>2</sub> overschot (pers. communicatie Vyncke, Typhoon, 2008)<sup>12</sup>. Doekfilters laten ook toe om zure componenten of dioxines te verwijderen. Hiervoor wordt respectievelijk kalk of actieve kool geïnjecteerd in het rookgaskanaal voor het doekfilter. Het rookgasreinigingsresidu wordt vervolgens afgevangen door het doekfilter.

Met een 'standaard' ESP worden emissiewaarden van 30-50 mg/Nm<sup>3</sup> bij 6% O<sub>2</sub> gegarandeerd. Door extra investeringen (ca. verdubbeling van investeringskost) kunnen de emissies met een ESP tot < 10 mg/Nm<sup>3</sup> worden gereduceerd (pers. communicatie Vyncke, Typhoon en Wärtsila, 2008).

#### *Middelgrote installaties (5-50 MWth)*

Middelgrote stookinstallaties worden voorzien van een ESP of een doekenfilter, met eventueel voorgeschakelde cycloon. Haalbare emissieniveaus van deze installaties liggen tussen 5-20 mg/Nm<sup>3</sup> (6% O<sub>2</sub>) voor nieuwe installaties en 5-30 mg/Nm<sup>3</sup> (6% O<sub>2</sub>) voor bestaande installaties (persoonlijke communicatie Vyncke, 2008; ANN., juni 2006).

### **4.1.2. Reductie van SO<sub>2</sub>-emissies**

Afhankelijk van het S-gehalte in de brandstof worden nageschakelde technieken ingezet om de SO<sub>2</sub>-emissies te beperken. In onderstaande berekeningen wordt uitgegaan van een SO<sub>2</sub>-concentratie gebaseerd op berekeningen (zoals weergegeven in *Tabel 65*). Er wordt gewerkt met een concentratie aan SO<sub>2</sub> in de ruwe rookgassen die gebaseerd is op een omzetting van 60% van het aanwezige S in de brandstof naar SO<sub>2</sub> in de rookgassen.

<sup>11</sup> Emissiegrenswaarde voor stof voor biomassa(-afval) uit Vlarem (omgerekend 150 mg/Nm<sup>3</sup> bij 11% O<sub>2</sub>)

<sup>12</sup> Fedustria vindt het aangegeven emissieniveau niet realistisch, zie bijlage 6

Een mogelijke maatregel om de SO<sub>2</sub>-emissies te reduceren is de injectie van Ca(OH)<sub>2</sub> in de rookgassen voor deze naar een doekfilter worden geleid (zie bijlage 4 TF 13, droog sorbent injectie). Met droog sorbent injectie kunnen de SO<sub>2</sub>-emissies met 70 tot 90% gereduceerd worden. Voor grotere installaties (> 20 MWth) kan ook halfnatte of natte wassing (zie bijlage 4 TF 14) ingezet worden, waarmee een verlaging van de SO<sub>2</sub>-emissies van respectievelijk van 80 tot 90% en 85 tot 95% haalbaar zijn. Bovendien worden met deze maatregelen ander schadelijke pollutanten verwijderd, zoals HCl. Er wordt hiervoor een haalbaar emissieniveau van < 25 mg HCl/Nm<sup>3</sup> (6% O<sub>2</sub>) gerapporteerd (ANN., juni 2006).

Bij wervelbedinstallaties kan 'in-situ'-ontzwaveling worden toegepast door toevoeging van kalksteen of dolomiet in het bed. Bij inzet van zwavelrijke brandstoffen kan in een circulerend wervelbed hiermee 80% reductie bekomen worden. Bij bubblingbedsystemen is de efficiëntie lager omdat de turbulentie in deze systemen lager is. Hierdoor is er minder contact tussen Ca en S. De verwijderingsefficiëntie voor een bubbling bed (en ook voor circulerende wervelbedden waarin brandstoffen met een laag S-gehalte worden gestookt) ligt typisch op 30-40% (ANN., juni 2006).

Er kan overwogen worden om een laag S-brandstof in te zetten om de SO<sub>2</sub>-emissies te verlagen. Een verlaging van het S-gehalte van de brandstof met 0,5% geeft een verlaging van de emissies van 700 tot 1000 mg/Nm<sup>3</sup> bij 6%O<sub>2</sub>, afhankelijk van de calorische waarde van de brandstof.

In co-verbrandingsinstallaties kunnen hernieuwbare brandstoffen samen verbrand worden met andere brandstoffen. Indien S-rijke brandstoffen samen met S-arme brandstoffen worden verbrand kan dit de SO<sub>2</sub>-emissies onder controle houden. Het reductiepercentage en het haalbare emissieniveau is afhankelijk de hoeveelheid bijstook en het S-gehalte van de ingezette brandstof.

De emissiewaarden die volgens de modelberekeningen met de diverse rookgasreinigingstechnieken haalbaar zijn voor de onderzochte vaste hernieuwbare brandstoffen, zijn weergegeven in onderstaande tabel. Er wordt benadrukt dat het gaat om theoretische berekeningen bij optimale verbrandingscondities. Voor de berekeningswijze wordt verwezen naar § 3.7.2 en bijlage 3. De combinatie van primaire maatregelen met nageschakelde maatregelen of de combinatie van meerdere nageschakelde deSO<sub>x</sub>-technieken is in deze studie niet doorgerekend omwille van een tekort aan concrete gegevens aangaande haalbaar reductierendement en kostprijzen.

**Tabel 73:** *Overzicht berekende haalbare SO<sub>2</sub>-emissieniveaus met nageschakelde ontzwavelingstechnieken op stookinstallaties op vaste hernieuwbare brandstoffen*

maatregel	red. %*	Berekende haalbare SO <sub>2</sub> -emissies (mg/Nm <sup>3</sup> ) bij 6%O <sub>2</sub>			
		Grasachtig	Diermeel	Mest	Stib
Geen		140-1540	970	870-1740	2130-4685
droog sorbent injectie	70	45-465	295	260-525	640-1405
halfnat	80	35-310	195	175-350	430-940
natte wassing	85	25-230	145	130-260	320-705

\* Deze reductie rendementen kunnen oplopen tot respectievelijk 90, 90 en 95%. Deze hogere rendementen leiden uiteraard tot lagere emissieniveau's.

### 4.1.3. Reductie van NO<sub>x</sub>-emissies

De lage verbrandingstemperaturen bij verbranding van hernieuwbare brandstoffen zijn voordelig voor de beperking van NO<sub>x</sub>-emissies. Een efficiënte lage-NO<sub>x</sub>-verbranding vereist een secundair luchtsysteem en speciaal ketelontwerp om zo twee verbrandingszones te creëren. NO<sub>x</sub>-emissies worden gereduceerd door een aangepaste verbrandingstechnologie zoals getrapte verbrandingslucht (OFA, reeds 10 jaar standaard op installaties) en/of rookgasrecirculatie. Aan gezien OFA reeds 10 jaar standaard is, wordt er in de berekeningen van het mogelijk haalbare NO<sub>x</sub> emissieniveau uitgegaan van de veronderstelling dat deze techniek steeds wordt gebruikt. De overige primaire en nageschakelde reductietechnieken worden aldus steeds in combinatie met OFA toegepast. De weergegeven reductiepercentages voor deze overige technieken slaan enkel op deze technieken.

In onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van de berekende haalbare emissieniveaus wanneer overfir air en/of rookgasrecirculatie worden toegepast. Rookgasrecirculatie is een maatregel die niet veel toepassing kent als retrofit op bestaande installaties, daar deze een grote aanpassing vraagt aan de ketel. Mogelijk verdubbelt dit de investeringskost omwille van de hoge installatiekost. Hiermee zijn reductierendementen van 10-25% haalbaar.

Er wordt benadrukt dat het gaat om theoretische berekeningen bij optimale verbrandingscondities. Voor de berekeningswijze wordt verwezen naar § 3.7.2 en bijlage 3.

**Tabel 74:** Overzicht berekende haalbare NO<sub>x</sub>-emissieniveaus met primaire technieken op stookinstallaties op vaste hernieuwbare brandstoffen

maatregel	red. %	Berekende haalbare NO <sub>x</sub> -emissies (mg/Nm <sup>3</sup> ) bij 6%O <sub>2</sub>						
		onbehandeld hout	PF spaanplaat	UF spaanplaat	grasachtig	diermeel	mest	stib
getrapte verbrandingslucht (OFA)	30-40 <sup>1</sup>	180-520	410	970-1120	290-620	1440	925-1615	1360-2155
OFA+ rookgasrecirculatie (RGR)	> 10	160-470	370	870-1010	260-550	1295	830-1455	1225-1940

- 30-40% reductie is haalbaar indien wordt uitgegaan van een klassieke brander welke nog geen enkele lage NO<sub>x</sub>-technologie bevat. Indien wordt uitgegaan van een situatie waar reeds een eerste generatie lage NO<sub>x</sub>-brander is geïnstalleerd bedraagt het haalbaar reductierendement ca. 10-20%.

Getrapte brandstoftoevoer (ook reburning genoemd) kent reeds vele toepassingen op installaties op fossiele brandstoffen. Er wordt momenteel geëxperimenteerd met de techniek op met hernieuwbare brandstoffen gestookte installaties. Voor de toepasbaarheid van deze maatregel speelt de grootte van de ketel een belangrijke rol om voldoende uitbrand van de secundaire brandstof te verzekeren en installatie van de injectielanzen voor de secundaire brandstof toe te laten (zie bijlage 4 TF 4). Hierdoor is reburning eerder van toepassing op nieuwe (grotere) installaties, al zijn er heel wat toepassingen op bestaande installaties, op fossiele brandstoffen weliswaar, bekend (ANN., 2006). In onderstaande tabel worden de berekende haalbare emissieniveaus weergegeven voor installaties waarop reburning wordt toegepast. Reburning kan de emissies met 20-50% reduceren (World Bank Group, 2007). In de LCP BREF (ANN., 2006) worden reductiepercentages van 40-50% vermeld, voor aardgasreburning in grote kolengestookte ketels. In de berekeningen wordt gewerkt met een reductiepercentage van 30%. Bovendien wordt ook uitgegaan van de veronderstelling dat enkel installaties vanaf 20 MWth in aan-

merking komen voor deze techniek (zie boven). De aanpassing van een bestaande installatie heeft een relatief hoge investeringskost, in vergelijking met SNCR, waarmee gelijkaardige reducties kunnen behaald worden.

In onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van de berekende haalbare emissieniveaus wanneer over-fire air in combinatie met reburning wordt toegepast. Er wordt benadrukt dat het gaat om theoretische berekeningen bij optimale verbrandingscondities. Voor de berekeningswijze wordt verwezen naar § 3.7.2 en bijlage 3.

**Tabel 75:** *Overzicht berekende haalbare NO<sub>x</sub>-emissieniveaus met primaire technieken op stookinstallaties op vaste hernieuwbare brandstoffen*

Maatregel	red. %	Berekende haalbare NO <sub>x</sub> -emissies (mg/Nm <sup>3</sup> ) bij 6%O <sub>2</sub>						
		onbehandeld hout	spaanplaat	UF spaanplaat	Stro/gras	diermeel	Mest	slib
OFA + reburning								
20-50 MW	30	130-365	290	680-785	205-430	1010	650-1130	950-1510

Naast deze aanpassingen aan de ketel kunnen ook nageschakelde deNO<sub>x</sub>-technieken gebruikt worden. Secundaire maatregelen zoals selectieve of niet-selectieve katalytische reductie (SCR of SNCR, zie bijlage 4 TF 9 en 10) zijn mogelijk en worden reeds toegepast op grote installaties gestookt met hernieuwbare brandstoffen (> 20MWth). Een nadeel van het gebruik van SNCR en SCR zijn de mogelijke emissies van niet-gereageerd NH<sub>3</sub> (NH<sub>3</sub>-slip). Hoe hoger het gewenste rendement hoe hoger de kans op ongewenste NH<sub>3</sub>-emissies.

Een NO<sub>x</sub>-reductie van 30% met SNCR met zeer lage NH<sub>3</sub>-emissie (< 5mg/Nm<sup>3</sup>) is haalbaar voor kleinere installaties (< 5 MMW). Deze kleinere installaties werken vaak discontinu, waardoor het maximale rendement van de deNO<sub>x</sub>-installatie niet gehaald kan worden. Voor middelgrote installaties (> 5-20 MW) kan een hoger rendement vooropgesteld worden. Deze installaties werken vaak continu, wat hogere rendementen van de NO<sub>x</sub>-installatie tot gevolg heeft. Een rendement van 35% is haalbaar. Voor installaties met een vermogen > 20 MW zijn nog hogere rendementen (40-50%) haalbaar omdat er bovendien een NH<sub>3</sub>-dosering geïnstalleerd kan worden die geregeld wordt op basis van de gemeten deNO<sub>x</sub>- of NH<sub>3</sub>-gehalten in de rookgassen. Hierdoor kan de NH<sub>3</sub> beter gedoseerd worden wat resulteert in een optimale werking van de deNO<sub>x</sub>, zonder grote NH<sub>3</sub>-slip. In de berekeningen wordt gewerkt met een haalbaar rendement van 40%.

De berekende emissies worden weergegeven in onderstaande tabel. Er wordt benadrukt dat het gaat om theoretische berekeningen bij optimale verbrandingscondities. Voor de berekeningswijze wordt verwezen naar § 3.7.2 en bijlage 3.

**Tabel 76:** Overzicht berekende haalbare NO<sub>x</sub>-emissieniveaus met SNCR op stookinstallaties op vaste hernieuwbare brandstoffen

maatregel	red. %	Berekende haalbare NO <sub>x</sub> -emissies (mg/Nm <sup>3</sup> ) bij 6%O <sub>2</sub>						
		onbehandeld hout	PF spaanplaat	UF spaanplaat	Stro/gras	diermeel	Mest	slib
OFA + SNCR								
< 5 MW	30	130-365	290	680-785	205-430	1010	650-1130	950-1510
5-20 MW	35	120-340	270	630-730	190-400	935	600-1050	885-1405
20-50 MW	40	110-315	250	580-675	175-370	865	555-9670	815-1295

Een SCR heeft een hogere performantie dan een SNCR. Met dit type van deNO<sub>x</sub>-installatie kunnen rendementen tussen 80 en 95% gehaald worden (ANN., juni 2006). Het haalbare rendement is afhankelijk van het type installatie en de gebruikte brandstof. Een SCR-installatie maakt gebruik van een katalysator (zie bijlage 4 TF 10). Deze katalysator zal zijn optimaal rendement sneller verliezen wanneer hernieuwbare brandstoffen worden verbrand die een hoog kalium- en natriumgehalte hebben. Dit is omwille van het feit dat de katalysator vergiftigd wordt door de zouten die gevormd worden op basis van deze elementen (zie ook § 4.2.3). Hernieuwbare brandstoffen die vaak een hoog kalium- en/of natriumgehalte hebben zijn diersoep, grassen, slib en mest.

Maar ook wanneer Na- en K-rijke brandstoffen gestookt worden zijn hogere rendementen haalbaar wanneer voor de SCR-installatie een doorgedreven rookgasreinigingsinstallatie aanwezig is. In wat volgt wordt echter geen onderscheid gemaakt naar haalbare rendementen voor de verschillende types van brandstoffen.

Wanneer een SCR installatie gebruikt wordt moet rekening worden gehouden met het feit dat het nodig kan zijn om de rookgassen terug op te warmen alvorens ze door de SCR-installatie worden gestuurd, aangezien deze installaties doorgaans bedreven worden bij een temperatuur tussen 200 en 500 °C, afhankelijk van de katalysator.

Voor kleinere installaties (< 5 MWth) kan een rendement van 80% tot 85% gehaald worden. Voor middelgrote installaties (> 5 MWth) wordt verondersteld dat een hoger rendement haalbaar is. Deze installaties werken vaak continu, wat hogere rendementen van de deNO<sub>x</sub>-installatie tot gevolg heeft. Het haalbare rendement bedraagt 85 tot 90%. Voor installaties met een vermogen > 20 MW zijn nog hogere rendementen haalbaar omdat voor deze installaties verondersteld kan worden dat ze continu werken wat een positief effect heeft op de werking van de deNO<sub>x</sub>-installatie. Bovendien kan er een NH<sub>3</sub>-dosering geïnstalleerd worden die geregeld wordt op basis van de gemeten NO<sub>x</sub>-gehalten in de rookgassen. Hierdoor kan de NH<sub>3</sub> beter gedoseerd worden wat resulteert in een optimale werking van de deNO<sub>x</sub>, zonder grote NH<sub>3</sub>-slip. Voor deze installaties zijn rendementen van respectievelijk 90 tot 95% haalbaar.

De emissiewaarden die volgens de modelberekeningen met een SCR-installatie haalbaar zijn voor de onderzochte vaste hernieuwbare brandstoffen, zijn weergegeven in onderstaande tabel. Er wordt benadrukt dat het gaat om theoretische berekeningen bij optimale verbrandingscondities. Voor de berekeningswijze wordt verwezen naar § 3.7.2 en bijlage 3.

**Tabel 77:** Overzicht berekende haalbare NO<sub>x</sub>-emissieniveaus met SCR op stookinstallaties op vaste hernieuwbare brandstoffen

maatregel	red. %*	Berekende haalbare NO <sub>x</sub> -emissies (mg/Nm <sup>3</sup> ) bij 6%O <sub>2</sub>						
		onbehandeld hout	spaانplaat	UF spaانplaat	Stro/gras	diermeel	Mest	stib
OFA + SCR								
< 5 MW	80	40-105	85	195-225	60-125	290	185-325	275-435
5-20 MW	85	30-80	65	145-170	45-95	220	140-245	205-325
20-50 MW	90	20-55	45	100-115	30-65	145	95-165	140-215

\* De weergegeven reductiepercentages zijn de minimumwaarden, hogere reductiepercentages zijn mogelijk, tot respectievelijk 85, 90 en 95%. Wanneer deze hogere rendementen worden gehaald, zijn de haalbare emissieniveaus lager.

Naast deze enkelvoudige nageschakelde technieken kunnen ook combinaties van technieken gebruikt worden. In wat volgt wordt een overzicht gegeven van het mogelijk haalbare emissieniveau met een combinatie van NO<sub>x</sub>-reducerende technieken. In onderstaande tabel wordt op basis van de vermelde reductiepercentages en het berekende NO<sub>x</sub>-gehalte in de ruwe rookgasen (met toepassing van OFA) de combinatie van rookgasrecirculatie met SNCR of SCR weergegeven.

Er wordt benadrukt dat het gaat om theoretische berekeningen bij optimale verbrandingscondities. Voor de berekeningswijze wordt verwezen naar § 3.7.2 en bijlage 3.

**Tabel 78:** Overzicht berekende haalbare NO<sub>x</sub>-emissieniveaus met combinatie van technieken, rookgasrecirculatie met respectievelijk SNCR en SCR op stookinstallaties op vaste brandstoffen

maatregel	red. %	Berekende haalbare NO <sub>x</sub> -emissies (mg/Nm <sup>3</sup> ) bij 6%O <sub>2</sub>						
		onbehandeld hout	spaانplaat	UF spaانplaat	Stro/gras	diermeel	Mest	stib
OFA + RGR + SNCR								
< 5 MW	37	115-330	260	610-705	185-390	910	585-1020	855-1360
5-20 MW	42	105-305	240	565-655	170-360	845	540-945	795-1265
> 20 MW	58	80-220	175	410-470	125-260	605	390-680	570-905
OFA + RGR + SCR*								
< 5 MW	82	35-95	75	175-205	55-110	260	170-295	245-390
5-20 MW	87	25-70	55	130-155	40-55	195	125-220	185-295
> 20 MW	91	20-50	40	90-105	30-55	130	85-145	125-195

\* De weergegeven reductiepercentages zijn de minimumwaarden, hogere reductiepercentages zijn mogelijk, tot respectievelijk 87, 91 en 96%. Wanneer deze hogere rendementen worden gehaald, zijn de haalbare emissieniveaus lager.

De eigenschappen van de hierboven aangegeven technieken worden samengevat in onderstaande tabel. Voor een volledige beschrijving verwijzen we naar de technische fiches (Bijlage 4).

Techniek	Milieuvoordeel	Toepasbaarheid		Operationele ervaring op verbrandingsinstallaties in het algemeen	Cross-media effecten	Kostenwerk nieuwe installatie in €/MWh tenzij anders vermeld	Opmerkingen
		Nieuw	Retrofit				
ESP	reductie van stof en zware metalen	mogelijk	mogelijk	Veel		25.000-180.000	ESP werkt niet op deeltjes met een hoge soortelijke weerstand
doekfilter	reductie van fijn stof (PM <sub>2,5</sub> en PM <sub>10</sub> ) en zware metalen	mogelijk	mogelijk	Veel		22.000-150.000	Een doekfilter is minder van toepassing dan een ESP omwille van het verhoogd brandgevaar
In-situ ontzwaaveling in wervelbedsystemen	reductie van SO <sub>2</sub> , HF en HCl	mogelijk	mogelijk	Veel		1800-1950 €/ton SO <sub>2</sub> verwijderd (ANNI., 2006)	
gebruik brandstof met laag S-gehalte en laag asgehalte	reductie van stof en SO <sub>2</sub>	mogelijk	mogelijk	Veel		Afhankelijk van gebruikte brandstof	
Co-verbranden van S-rijke met S-arme brandstof	reductie van SO <sub>2</sub>	mogelijk	mogelijk	Veel		Afhankelijk van gebruikte brandstof	
injectie van CaOH voor het doekfilter	reductie van SO <sub>2</sub> , HF, HCl, stof en Hg (indien gecombineerd met actief kool)	mogelijk	mogelijk	Veel	aanslag in de ketel mogelijk	11.000-14.000	
halfnatte wassing	reductie van SO <sub>2</sub> , HF, HCl en stof	mogelijk, >20MWh	mogelijk, >20MWh	Veel	residuen die afgevoerd moeten worden	ca 15.500	De efficiëntie hangt af van de ontstopping die erachter wordt geplaatst (ESP of doekfilter), daar de ontzwaaveling voor een deel op de filter plaatsvindt
natte wassing	reductie van SO <sub>2</sub> , HF, HCl en stof	mogelijk, >20MWh	mogelijk, >20MWh	Veel	residuen die afgevoerd moeten worden	ca.42.000	
lage luchtvermaat getrapte verbrandingslucht	reductie van NOx, CO, HC en N <sub>2</sub> O emissies, verhoogde efficiëntie	standaard	mogelijk	Veel	mogelijk onvoldedige verbranding, met dus verhoogde CO en onverbrande C	6.000	NOx-reductie hangt af van het ongecontroleerd emissieniveau
rookgasrecirculatie	reductie van NOx, CO, HC en N <sub>2</sub> O emissies, verhoogde efficiëntie	mogelijk	mogelijk	Veel	Bijkomend energieverbruik door de recirculatieventilator	5.000-7.000	Retrofit van een bestaande installatie kan problemen geven door de verlaagde efficiëntie van de installatie, behalve wanneer zeer kleine hoeveelheden rookgas worden gerecirculeerd



Techniek	Milieuvoordeel	Toepasbaarheid		Operationele ervaring op verbrandingsinstallaties in het algemeen	Cross-media effecten	Kosten voor nieuwe installatie in €/MWh tenzij anders vermeld	Opmerkingen
		Nieuw	Retrofit				
lage NOx branders (geavanceerde tweede en derde generatie lage NOx branders)	reductie van NOx	standaard	mogelijk	Veel	mogelijk onvollledige verbranding	3.000-15.000	standaard
getrapte brandstoftoevoer	reductie van NOx	mogelijk	-	Beperkt		20.000-50.000	Technisch moeilijk met biomassa als rebranding fuel, vnl. voor grote installaties omwille van complexe ontwerp en procescontrole
SNCR	reductie van NOx, maar het reductiepercentage is veel lager dan bij SCR	mogelijk	mogelijk	Veel	NH <sub>3</sub> -emissies en ammoniufaadvorming mogelijk	ca. 4.500 (afhankelijk van het rookgasdebiet per uur)	
SCR	reductie van NOx	mogelijk	mogelijk	Veel	NH <sub>3</sub> -emissies	ca. 30.000 (afhankelijk van het rookgasdebiet per uur)	

## 4.2. Emissiebeperkende maatregelen naar lucht bij het verbranden van vloeibare hernieuwbare brandstoffen in stookinstallaties

### 4.2.1. Reductie van stofemissies

Zowel voor bestaande als voor nieuwe installaties kunnen de stofemissies onder controle worden gehouden door de optimalisatie van de branders en de ketels. Dit resulteert in verlaagde stofemissies (zie bijlage 4 TF 3). Hoe beter de verstuiving van de brandstof en hoe groter de ketel, hoe beter de verbranding en hoe minder fijn stof er geëmitteerd zal worden. Grote installaties zullen daarom lagere stofemissies emitteren dan kleine of middelgrote installaties.

PM emissieconcentraties in de ruwe rookgassen  $< 10\text{-}45 \text{ mg/Nm}^3$  bij 3%  $\text{O}_2$  zijn haalbaar, afhankelijk van het asgehalte van de vloeibare brandstof en de grootte van de installatie (zie Tabel 66 en Tabel 67).

Stofemissies kunnen eventueel verder worden gereduceerd d.m.v. een ESP of doekfilter (zie bijlage 4 TF 12-13). Bij vloeibare fossiele brandstoffen wordt meestal gebruik gemaakt van ESP.

### 4.2.2. Reductie van $\text{SO}_2$ -emissies

Vloeibare hernieuwbare brandstoffen, zoals dierlijke vetten of plantaardige oliën, bevatten lage percentages S, maximum 0,05%. Deze lage S-gehalten leiden tot lage  $\text{SO}_2$ -emissies,  $< 40 \text{ mg/Nm}^3$  bij 3% $\text{O}_2$ .

### 4.2.3. Reductie van $\text{NO}_x$ -emissies

Bij de verbranding van hernieuwbare brandstoffen hangt de vorming van  $\text{NO}_x$  af van de hoeveelheid N in de brandstof en de temperatuur in de vuurhaard. Uit de analyse van de emissies (berekende versus gemeten), blijkt dat bij verbranden van vloeibare brandstoffen de thermische- $\text{NO}_x$ -emissies een belangrijk aandeel hebben in de totale  $\text{NO}_x$ -emissies (zie § 3.7.2.2).

Optimalisatie van de verbranding is essentieel voor het beperken van  $\text{NO}_x$  emissies voor alle stookinstallaties op vloeibare hernieuwbare brandstoffen.

#### *Bestaande installaties*

Uit de praktijkgegevens (Ecolas, 2006; gegevens BC, 2007) voorhanden kunnen we afleiden dat bestaande middelgrote installaties op dierlijke vetten  $< 540 \text{ mg NO}_x / \text{Nm}^3$  emitteren.

Deze installaties kunnen tegen relatief betaalbare prijzen (ca. € 5.000 per MWth, apparatuurkosten zonder installatiekosten) door het installeren van een secundaire luchttoevoersysteem (overfire air, OFA) de emissies met gemiddeld 30-40% doen afnemen.

Bestaande branders kunnen ook vervangen worden door een lage  $\text{NO}_x$  brander (ca. 4.000-15.000 €/MWth, apparatuurkosten zonder installatiekosten) (zie bijlage 4 TF 5). Bij retrofit van de installatie met een lage  $\text{NO}_x$ -brander dient erop gelet te worden dat de vlamlengte niet tot aan de economisers komt. Met lage  $\text{NO}_x$ -branders kunnen de emissies met max. 40%<sup>13</sup> worden gereduceerd (Goovaerts et al, juni 2002).

<sup>13</sup> 40% reductie indien wordt uitgegaan van een installatie waar nog geen enkele lage  $\text{NO}_x$  technologie op toegepast is. Indien vervanging van een eerste generatie lage  $\text{NO}_x$  door een tweede generatie is het reductieniveau lager:  $< 20\%$ .

Naast overfire air kunnen de emissies ook verder gereduceerd worden door toepassen van rookgasrecirculatie (zie bijlage 4 TF 6), waarmee de NO<sub>x</sub>-emissies met ca. 10-25% kunnen gereduceerd worden. Retrofitting van bestaande installaties kan aanpassingproblemen geven, te wijten aan de verlaagde efficiëntie van zowel de ketel als de brander. Bij beperkte rookgasrecirculatie (ca. 30%) kunnen deze problemen worden voorkomen; al wordt deze maatregel hierdoor toch als laatste mogelijkheid aangeboden door leveranciers. De grootte-orde van de kosten kan vergelijkbaar zijn met de implementatie van overfire air, maar kan ook het dubbele bedragen afhankelijk van de ketelgrootte en opbouw van de installatie.

Met lage-NO<sub>x</sub> branders op PPO en gerecycleerd frituurvet met overfire air zijn emissies lager dan 250 mg/Nm<sup>3</sup> bij 3%O<sub>2</sub> haalbaar (afgeleid uit experimenten studie Erbinck et al. (2003) en emissiefactoren ECN (juni 2006)). Erbinck et al. geeft een haalbaar NO<sub>x</sub>-emissieniveau van 200 mg/Nm<sup>3</sup> bij 3% O<sub>2</sub>. Lagere emissieniveaus kunnen voor middelgrote installaties niet verzekerd worden, zonder nageschakelde maatregelen.

In grotere installaties (> 20MWth) kan eventueel ook reburning toegepast worden, met gasvormige of vloeibare reburning brandstoffen. Meestal wordt (aard)gas gebruikt.

De grootte van de ketel speelt een belangrijke rol om voldoende uitbrand van de secundaire brandstof te verzekeren (zie bijlage 4 TF 4). Hierdoor is reburning eerder van toepassing op nieuwe installaties, al zijn er heel wat toepassingen op bestaande installaties op fossiele brandstoffen bekend (ANN., 2006).

Reburning leidt tot een reductie van de emissies met 20-50% (World Bank Group, 2007). De LCP BREF (ANN., 2006) vermeldt voor reburing in ketels op en met vloeibare brandstoffen reductiepercentages van 50-80%. De aanpassing van een bestaande installatie heeft een relatief hoge investeringskost, in vergelijking met SNCR, waarmee gelijkaardige reducties kunnen behaald worden.

Secundaire maatregelen zoals SNCR (zie bijlage 4 TF 9) en SCR (zie bijlage 4 TF 10) kunnen toegepast worden op alle groottes van stookinstallaties van vloeibare hernieuwbare brandstoffen.

SNCR vraagt een goede kennis van de temperatuurverdeling over de ketel en een goede controle van de injectie. Het reducerend reagens wordt in dat deel van de ketel geïnjecteerd waar de temperatuur rond de 900°C bedraagt. Een NO<sub>x</sub>-reductie van 30 tot 50% kan behaald worden. De haalbare efficiënties zijn afhankelijk van de hoeveelheid ammoniak die geïnjecteerd wordt en het werkingsregime van de installatie (continu-discontinu). In de berekeningen van het haalbare emissieniveau gaan we uit van stijgend rendement met toenemende capaciteit vermits bij toenemende grootte de ammoniakinjectie beter kan gestuurd worden (continue monitoring NO<sub>x</sub>-input of NH<sub>3</sub>-output) en deze installaties vaak een continu werkingsregime hebben wat essentieel is voor een optimaal verwijderingsrendement (zie § 4.1.3).

SCR stelt hoge eisen aan de rookgasinput, m.n. stofvrij en op een temperatuur van 200-500 °C. Daarenboven versnelt de aanwezigheid van Cl, K, Na en P de deactivatie van de katalysator. Een leverancier onderzocht de geschatte periode dat een bepaald NO<sub>x</sub> emissieniveau kan gegarandeerd worden bij gebruik van vloeibare hernieuwbare brandstoffen (Wärtsilä, pers. communicatie 2008). Hieruit bleek dat zeer lage NO<sub>x</sub> emissies (en dus hoge efficiënties) slechts een beperkte tijd kunnen behaald worden. De hoeveelheid alkalimetalen en P aanwezig in de brandstof zijn de bepalende factoren. Bij SCR worden NO<sub>x</sub>-reducties van gemiddeld 80 tot 95% gerealiseerd. Voor kleine installaties wordt de laagste efficiëntie als haalbaar beschouwd, daar hier de sturing en deactivatie van de katalysator een grotere kost in verhouding tot de emissies met zich meebrengt (hoe hoger het rendement hoe hoger de investerings- en operationele kost). Voor de middelgrote wordt aangenomen dat de SCR een gemiddeld rendement van 85-90% kan behalen.

**Tabel 79:** Overzicht haalbaar NOx-emissieniveaus met kandidaat BBT berekend op bestaande kleine/middelgrote stookinstallaties op dierlijke vetten en met de theoretisch haalbare rendementen zoals aangegeven in de 2<sup>de</sup> kolom

Maatregel	red. %	Berekende haalbare NOx-emissies (mg/Nm <sup>3</sup> ) bij 3%O <sub>2</sub>
		Klein/Middelgroot
Geen	0	550
Rookgasrecirculatie	10	495
overfire air + rookgasrecirculatie	37	347
SNCR	30-45	303-385
lage NOx	40	330
Reburning	50	303
lage NOx + overfire air	58	231
lage NOx + rookgasrecirculatie	46	297
lage NOx + rookgasrecirculatie + SNCR	62-70	165-209
lage NOx + reburning	70	204
lage NOx + overfire air + SNCR	70-77	125-165
SCR	80-90	55-110
lage NOx + rookgasrecirculatie + SCR	90-95	28-55
lage NOx + overfire air + SCR	92-96	22-44

Analyse berekende emissieniveaus t.o.v. gemeten emissiewaarden (zie Tabel 66):

- Bij installaties op dierlijke vetten liggen de gemeten emissiewaarden momenteel allemaal hoger dan 350 mg/Nm<sup>3</sup> bij 3%O<sub>2</sub>;
- Dit emissieniveau stemt overeen met de berekende waarde voor primaire maatregelen of het gebruik van lage NOx of SNCR. Dit kan erop wijzen dat bepaalde installaties op dierlijke vetten reeds voorzien zijn van deze milieumaatregelen;
- Zeer lage waarden, zoals berekend voor de combinaties van primaire maatregelen met SCR, worden niet teruggevonden in de beschikbare meetgegevens of literatuur. Mogelijk is deze combinatie of het gerelateerd reductierendement technisch en/of economisch niet haalbaar voor kleine en middelgrote installaties. Dit zal verder bekeken worden in hoofdstuk 5.

**Tabel 80:** Overzicht haalbaar NOx-emissieniveaus met kandidaat BBT berekend op kleine/middelgrote stookinstallaties op PPO en gerecycleerd frituurvet en met de theoretisch haalbare rendementen zoals aangegeven in de 2<sup>de</sup> kolom

Maatregel	red. %	Berekende haalbare NOx-emissies (mg/Nm <sup>3</sup> ) bij 3%O <sub>2</sub>
		Klein/Middelgroot
Lage NOx + overfire air		250
Rookgasrecirculatie	10	225
SNCR	30-45	138-175
Reburning	50	125
rookgasrecirculatie + SNCR	37-50	125-158
SCR	80-90	25-50
rookgasrecirculatie + SCR	82-91	23-45

Analyse berekende emissieniveaus t.o.v. gemeten emissiewaarden (zie Tabel 66 en Tabel 67):

- Erbinck et al. rapporteert voor nieuwe of vervangen installaties op PPO en frituurvetten emissiewaarden van gemiddeld 175 mg/Nm<sup>3</sup> bij 3%O<sub>2</sub>;
- Dit emissieniveau stemt overeen met de waarde berekend voor de combinatie van lage NOx-brander met primaire maatregelen of het gebruik van SNCR. Dit kan wijzen op het feit dat deze technieken momenteel al toegepast worden in bepaalde installaties;
- Zeer lage waarden, zoals berekend voor de combinatie van primaire maatregelen met SCR, worden niet teruggevonden in de beschikbare meetgegevens of literatuur. Mogelijk is deze combinatie of het gerelateerd reductierendement technisch en/of economisch niet haalbaar voor kleine en middelgrote installaties. Dit zal verder bekeken worden in hoofdstuk 5.

### *Nieuwe installaties*

Alle nieuwe stookinstallaties zullen uitgerust zijn met lage NOx-branders met overfire air en/of rookgasrecirculatie, daar deze reeds geruime tijd stand der techniek zijn.

Voor installaties op dierlijke vetten wordt verondersteld dat een emissieniveau van 250-300 mg/Nm<sup>3</sup> bij 3% O<sub>2</sub> haalbaar is (zie Tabel 79). Verdere ontwikkeling van deze technologie, zoals vermeld voor gasolie (zie verder), zal mogelijk lagere emissies geven. Er is hierover echter geen praktijkinformatie beschikbaar.

Voor installaties op PPO en frituurolie worden in hoofdstuk 3 gelijkaardige emissieniveaus gerapporteerd als voor installaties op lichte fuel. Mogelijk kunnen de stookinstallaties dan ook het emissieniveau behalen van de nieuwe lage NOx en ultra-low NOx branders welke momenteel op de markt beschikbaar zijn voor lichte fuel. Er zijn echter ook hier geen concrete gegevens voorhanden m.b.t. nieuwe stookinstallaties op ppo of frituurolie.

Voor lage NOx branders op lichte fuel worden emissiewaarden van < 190-250 mg/Nm<sup>3</sup> bij 3% O<sub>2</sub> als haalbaar aangegeven door leveranciers (Derden et al., juni 2005). Er zijn reeds ultra low NOx branders op de markt die lagere emissiewaarden behalen, m.n. 60-120 mg NOx/Nm<sup>3</sup> (Studiedag NOx-reductie, november 2008, Derden et al., juni 2005). Deze installaties kosten gemiddeld 15-20% meer dan een low NOx brander.

In grotere installaties (> 20MWth) kan reburning toegepast worden. Hierbij is een grote ketel nodig om voldoende uitbrand van de secundaire brandstof te verzekeren (zie bijlage 4 TF 4). Reburning leidt tot een reductie van de emissies met 20-50%. De LCP BREF (ANN., 2006) vermeldt voor reburing in ketels op en met vloeibare brandstoffen reductiepercentages van 50-80%. De aanpassing van een bestaande installatie heeft een relatief hoge investeringskost, in vergelijking met SNCR, waarmee gelijkaardige reducties kunnen behaald worden

Ook op nieuwe installaties worden secundaire maatregelen geïmplementeerd. De haalbare efficiënties van deze nageschakelde maatregelen worden aangenomen dezelfde te zijn als bij bestaande installaties.

#### **4.2.4. Technieken om emissies naar de atmosfeer te voorkomen of reduceren op stookinstallaties op vloeibare hernieuwbare brandstoffen**

De eigenschappen van de hierboven aangegeven technieken worden samengevat in onderstaande tabel. Voor een volledige beschrijving verwijzen we naar de technische fiches (Bijlage 4).

Techniek	Milieuvoordeel	Toepasbaarheid		Operatiele ervaring op verbrandingsinstallaties in het algemeen	Cross-media effecten	Kostenwerk nieuwe installatie in €/MWh tenzij anders vermeld	Opmerkingen
		Nieuw	Retrofit				
ESP	reductie van stof en zware metalen	mogelijk	mogelijk	veel		25.000-180.000	
doekfilter	reductie van fijn stof (PM <sub>2,5</sub> en PM <sub>10</sub> ) en zware metalen	mogelijk	mogelijk	veel		22.000-150.000	Een doekfilter is minder van toepassing dan een ESP omwille van het verhoogd brandgevaar
overflie air	reductie van NOx, CO, HC en N <sub>2</sub> O emissies; verhoogde efficiëntie	mogelijk	mogelijk	veel		4.000-5.000	
rookgasrecirculatie	reductie van NOx, CO, HC en N <sub>2</sub> O emissies; verhoogde efficiëntie	mogelijk	mogelijk	veel		4.000	
lage NOx branders	reductie van NOx	mogelijk	mogelijk	veel	mogelijk onvolledige verbranding	3.000-15.000	Bestaande installaties kunnen problemen krijgen omwille van de waaierlengte van de modeme Lage NOx branders
reburning	reductie van NOx	mogelijk	mogelijk	veel		10.000	Grote ketels nodig om voldoende uitbrand van de secundaire brandstof te verzekeren
SNCR	reductie van NOx, maar het reductiepercentage is veel lager dan bij SCR	mogelijk	mogelijk	veel	NH <sub>3</sub> -emissies en ammoniumsulfaatvorming mogelijk	3.000 (kostprijs afhankelijk van het rookgasdebiet per uur)	
SCR	reductie van NOx	mogelijk	mogelijk	veel	NH <sub>3</sub> -emissies	20.000 (kostprijs afhankelijk van het rookgasdebiet per uur)	

### 4.3. Emissiebeperkende maatregelen naar lucht bij het verbranden van vloeibare hernieuwbare brandstoffen in dieselmotoren

#### 4.3.1. Reductie van stofemissies

Secundaire maatregelen voor de stofemissies zijn momenteel nog in ontwikkeling voor dieselmotoren. Afgassen van dieselmotoren hebben een andere temperatuur en zuurstofinhoud dan afgassen van ketels. Hierdoor zijn ook de elektrische eigenschappen van de dieselpartikels verschillend van de partikels uit stookinstallaties. Bijkomend onderzoek naar de toepasbaarheid en de haalbare emissies met nageschakelde technieken zoals elektrostatische precipitatie is lopende.

Eventueel kunnen roetfilters ingezet worden om de stofemissies te verlagen. Roetfilters op nieuwe motoren houden 95% of meer van de roetdeeltjes tegen. Retrofit filters hebben een rendement van 30 tot 50 procent (VROM 2002). Hiermee zijn stofemissies lager dan 15 mg/Nm<sup>3</sup> bij 15%O<sub>2</sub> haalbaar.

#### 4.3.2. Reductie van SO<sub>2</sub>-emissies

Vloeibare hernieuwbare brandstoffen, zoals dierlijke vetten of plantaardige oliën, bevatten slechts lage percentages S, < 0,05%. Deze lage S-gehalten leiden tot lage SO<sub>2</sub>-emissies.

#### 4.3.3. Reductie van NO<sub>x</sub>-emissies

##### *Bestaande motoren*

Hernieuwbare brandstoffen worden (anno 2008) in scheepsmotoren gebruikt. Bio-olieën en vetten vereisen, net zoals zware stookolie, robuuste motoren. Constructeurs geven volgende haalbare emissieniveaus voor scheepsmotoren op plantaardige/dierlijke oliën, zonder nageschakelde maatregelen, bij 15%O<sub>2</sub> (Wärtsilä, 2008):

- 1-5 MWth: 2100 mg/Nm<sup>3</sup>;
- 5-50 MWth: 2350 mg/Nm<sup>3</sup>;
- > 50 MWth: 2400 mg/Nm<sup>3</sup>.

Scheepsmotoren op zware stookolie behalen lagere emissieniveaus, 1460-1850 mg NO<sub>x</sub>/Nm<sup>3</sup> bij 15%O<sub>2</sub> afhankelijk van de cilinderdiameter. Deze lage niveaus kunnen blijkbaar nog niet behaald worden met ppo of dierlijke vetten. Hernieuwbare brandstoffen bevatten veel meer zuurstof t.o.v. zware stookolie. Dit bevordert de snelheid van warmte-vrijstelling in de motor en verhoogt zo de temperatuur en druk in de cilinders. Hoge temperaturen en drukken leiden tot hogere NO<sub>x</sub>-emissies.

Methoden om NO<sub>x</sub> te reduceren omvatten het optimaliseren van de vorm van de verbrandingskamer, een hoge compressieverhouding, een verfijnd brandstofinjectiesysteem en aangepast profiel van de nokken op de nokkenas<sup>14</sup>, een geoptimaliseerd turboladersysteem voor een correcte luchtvermaat en een interne koeling van de cilinders door vervroegde sluiting van de luchtinlaatkleppen (Miller concept).

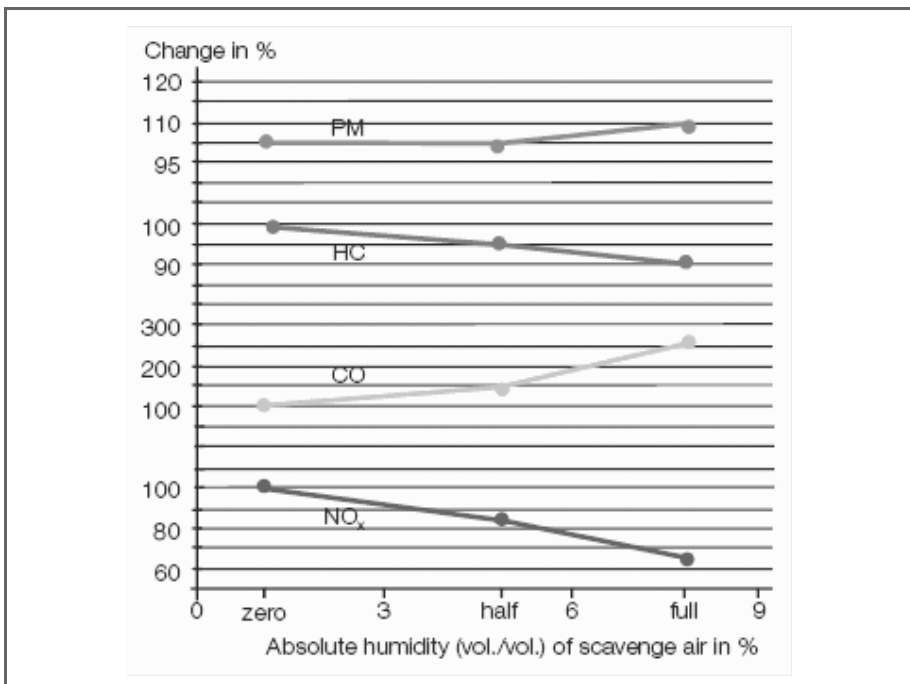
<sup>14</sup> De nokkenas bedient de kleppen van de viertaktmotor. De nokkenas is een as met uitstulpingen welke ronddraait en zo de kleppen in- en uitbeweegt. De vorm van deze uitstulpingen bepaalt dan ook hoelang deze kleppen geopend zijn, en is dus een maat voor de maximale opening van de kleppen.

Bijkomende NO<sub>x</sub>-reductie kan bekomen worden door het toevoegen van water aan de brandstof en dit mengsel in emulsie te brengen voor injectie in de motor. Het brandstof/water mengsel kan via de bestaande injectiepomp geïnjecteerd worden. Het inerte gaseffect van het water in de verbrandingskamer verlaagt de verbrandingstemperatuur, welke zo resulteert in een reductie van de NO<sub>x</sub> vorming. Hierdoor neemt het brandstofverbruik wel toe. Dit kan oplopen tot 1% per 10% waterinjectie. De NO<sub>x</sub>-reductie verloopt lineair met toenemende waterinjectie.

Directe waterinjectie kan ook toegepast worden als alternatief op de emulsie-brandstof. Deze techniek kan niet op alle dieselmotoren worden toegepast. Hij wordt reeds toegepast op scheepsmotoren. Deze methode vraagt een grote aanpassing aan de motor, omwille van het bijkomend waterinjectie-systeem en controlesysteem. Corrosie aan de cilinders kan voorkomen, waardoor het onderhoud aan de installatie toeneemt.

Door toevoeging van water kunnen de emissies gemiddeld met 10 tot zelfs 50-60% (op nieuwe motoren) gereduceerd worden, zonder nadeling effect op de efficiëntie van de motor (Wärtsilä).

Een alternatief voor waterinjectie is de injectie van vochtige lucht (stoom). Bij deze techniek wordt stoom in de cilinder geïnjecteerd om opnieuw een verlaging van de verbrandingstemperatuur te bekomen. NO<sub>x</sub>-emissies kunnen tot 70% gereduceerd worden (LCP BREF, 2006)). Maar hoge NO<sub>x</sub> reducties leiden tot verhoogde emissies van CO. Een reductiepercentage van 30% levert een goede balans (MAN, 2008).



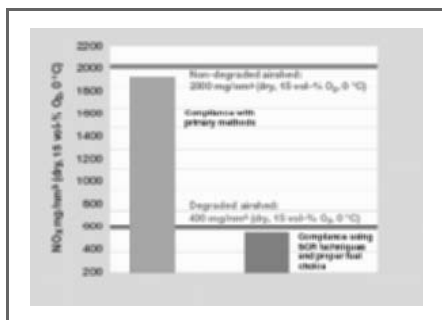
**Figuur 18:** Overzicht van de impact van injectie van vochtige lucht op een aantal emissieparameters bij 100% belasting in functie van het percentage verbrandingsluchtbevochtiging (MAN, 2008)



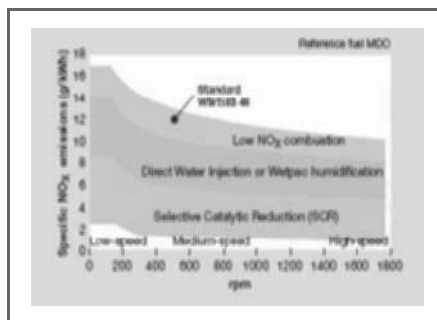
Door inzet van secundaire maatregelen, m.n. SCR, kunnen de emissie verder verlaagd worden. Door toepassing van SCR (zie bijlage 4 TF 10) kunnen de emissies met 80-95% gereduceerd worden (hoe hoger het rendement hoe hoger de investerings- en operationele kost). Opnieuw dient hierbij gelet te worden op de afgastemperatuur om zoutvorming op de katalysator te voorkomen. Zoals reeds aangegeven in § 4.2.3 kunnen een aantal elementen zorgen voor vergiftiging van de katalysator. De injectie van ammonium of ureum dient goed gecontroleerd te worden om  $\text{NH}_3$  uitstoot te voorkomen. Bij bestaande installaties gaat de verhoging van de tgendruk door implementatie van een SCR ten koste van het rendement (ECN, maart 2008).

**Tabel 81:** Overzicht berekende haalbare  $\text{NO}_x$ -emissioniveaus met kandidaat BBT voor bestaande scheepsmotoren op hernieuwbare brandstoffen

Maatregel	red. %	Haalbare $\text{NO}_x$ -emissies ( $\text{mg}/\text{Nm}^3$ ) bij 15% $\text{O}_2$		
		1-5 MW	5-20 MW	20-35 MW
		2100	2350	2400
injectie stoom/water	50	1050	1175	1200
SCR	85-95	105-315	118-353	120-360
injectie stoom/water + SCR	87-96	84-273	94-306	96-312



**Figuur 19: a)** Haalbaar emissieniveau zoals gerapporteerd door Wärtsilä met scheepsmotoren welke op PPO kunnen draaien (Wärtsilä), met degraded airshed zijnde luchtcompartimenten met slechte luchtkwaliteit en non-degraded zijnde luchtcompartimenten met een goede luchtkwaliteit (zie Worldbank EHS guidelines)



**Figuur 19: b)** Haalbare emissieniveaus in  $\text{g}/\text{kWh}$  output\* met verschillende  $\text{NO}_x$ -reductietechnieken voor scheepsmotoren op bunkerolie (Wärtsilä)

\*omrekening van  $\text{g}/\text{kWh}$  naar  $\text{mg}/\text{Nm}^3$  bij 15%  $\text{O}_2$  kan door vermenigvuldiging met factor 130.

Analyse berekende emissieniveaus t.o.v. gemeten emissiewaarden (zie Tabel 68):

- Metingen op scheepsmotoren (< 5MWh) op dierlijke vetten met nageschakelde SCR geven emissieniveaus van 52-155  $\text{mg}/\text{Nm}^3$  bij 15% $\text{O}_2$  (leden BC). Deze gerapporteerde emissieniveaus zijn laag in vergelijking met de berekende waarden (105-315  $\text{mg}/\text{Nm}^3$  voor SCR en 84-273  $\text{mg}/\text{Nm}^3$  voor water/stoominjectie+SCR). Dit kan erop wijzen dat de ruwe rookgasconcentraties voor de SCR in de praktijk lager zijn of de rendementen van de SCR in praktijk hoger zijn dan aangegeven in Tabel 68.
- Verder vermeldt MDE (<http://www.mde.com.cn/pdf/biogas.pdf>) over motoren te beschikken welke afgesteld zijn op het gebruik van biodiesel (VOME= vegetable oil methyl ester)

en gewone diesel (als reserve brandstof), waarbij met gebruik van SCR een emissieniveau van 100 mg NO<sub>x</sub>/Nm<sup>3</sup> bij 15%O<sub>2</sub> haalbaar is.

#### *Nieuwe motoren*

Scheepsmotoren op zware stookolie (low quality heavy fuel) behalen lagere emissieniveaus dan deze op biofuels, nl. 1460 tot max. 2000 mg/Nm<sup>3</sup> bij 15% O<sub>2</sub> zonder nageschakelde maatregelen. Uitgaande van het lopend onderzoek naar de verdere afstemming van biofuels op de bestaande motortechnologie en omgekeerd, kan verondersteld worden dat in de toekomst deze lagere emissieniveaus ook voor biofuels haalbaar zullen zijn.

Door toepassing van SCR kunnen deze scheepsmotoren op zware stookolie een emissieniveau van ca. 130 mg/Nm<sup>3</sup> bij 15%O<sub>2</sub> behalen (Wärtsilä). Het reductierendement van de SCR ligt hierbij dan op minstens 95%. Dit emissieniveau wordt (2008) reeds aangegeven in een aantal vergunningsdossiers voor dieselmotoren op biofuels (o.a. BIOX). We gaan er dan ook vanuit dat dit emissieniveau (130 mg/Nm<sup>3</sup>; 15%O<sub>2</sub>) kan behaald worden in nieuwe motoren.

#### **4.3.4. Technieken om emissies naar de atmosfeer te voorkomen of reduceren op dieselmotoren op hernieuwbare brandstoffen**

De eigenschappen van de hierboven aangegeven technieken worden samengevat in onderstaande tabel. Voor een volledige beschrijving verwijzen we naar de technische fiches (Bijlage 4).

Techniek	Milieuvoordeel	Toepasbaarheid		Operatonele ervaring op motoren in het algemeen	Cross-media effecten	Kostenwerk nieuwe installatie in €/MWh	Opmerkingen
		Nieuw	Retrofit				
ESP	reductie van stof en zware metalen	-	-	geen			Secundaire stofreductie is nieuw voor dieselmotoren en zijn nog in ontwikkeling
doekfilter	reductie van fijn stof (PM <sub>2.5</sub> en PM <sub>10</sub> ) en zware metalen	-	-	geen			
stoffilter voor dieselmotoren	reductie van stof, m.n. roetdeeltjes	mogelijk	-	beperkt			
motoraanpassingen	reductie van NOx	mogelijk	niet mogelijk	veel			
directe stoominjectie	reductie van NOx	mogelijk	mogelijk	veel	verhoogd brandstofverbruik en negatieve invloed op CO en CxHy emissies (rendementsverlies van 2-3%)	1.200-17.000	
directe waterinjectie	reductie van NOx	mogelijk	mogelijk	beperkt	verhoogd brandstofverbruik en negatieve invloed op CO en CxHy emissies (rendementsverlies van 2-3%)	1.200-17.000	
injectie van water/handstof-emulsie of vochtige lucht	reductie van NOx	mogelijk	mogelijk	beperkt			
SCR	reductie van NOx	mogelijk	mogelijk	veel (toch voor motoren op conventionele brandstoffen)	NH <sub>3</sub> -emissies	60.000 (kostenprijs afhankelijk van het rookgasdebiet per uur) Lagere kostenprijs worden ook vermeld: ca. 12.000-20.000 (Wärtsilä, maart 2007) en ca. €50.000 (ECN maart 2008)	

## 4.4. Emissiebeperkende maatregelen naar lucht bij het verbranden van gasvormige hernieuwbare brandstoffen in stookinstallaties

### 4.4.1. Reductie van stofemissies

Stofemissies van de verbranding van gasvormige brandstoffen vormen onder normale en gecontroleerde procescondities geen milieuprobleem.

### 4.4.2. Reductie van SO<sub>2</sub>-emissies

Uit de beperkte meetgegevens (EMJV, 2007) blijken de emissies van SO<sub>2</sub> zeer laag tot zeer hoog te kunnen liggen, nl. 17-3200 mg/Nm<sup>3</sup> bij 3% O<sub>2</sub>. Daar SO<sub>2</sub> emissies te wijten zijn aan hoge S-gehalten in de brandstof, zal het biogas vooraf ontzwaveld moeten worden.

Ontzwaveld biogas en stortgas bevatten slechts lage percentages S, 50-300 ppm of 7-40 g/GJ biogas. Deze lage S-gehalten leiden tot lage SO<sub>2</sub>-emissies, < 150 mg/Nm<sup>3</sup> bij 3% O<sub>2</sub>. Bij deze lage ruwe rookgasconcentraties zijn nageschakelde ontzwavelingstechnieken op de stookinstallaties niet kosteneffectief. Om de SO<sub>2</sub>-emissies verder te reduceren, zal het biogas vooraf verder ontzwaveld moeten worden.

### 4.4.3. Reductie van NO<sub>x</sub>-emissies

Verbrandingsinstallaties zijn over het algemeen ontworpen voor lage NO<sub>x</sub> verbranding. Er zijn drie verschillende manieren om de NO<sub>x</sub>-emissie te reduceren:

- toepassen van lage NO<sub>x</sub> branders. De voorwaarden voor lage NO<sub>x</sub>-emissies zijn een lage vlamtemperatuur in de primaire zone en een voldoende lange verblijftijd van de rookgassen in de oven voor volledige uitbrand.
- rookgasrecirculatie is een efficiënte maatregel indien de NO<sub>x</sub>-emissies voornamelijk bestaan uit thermische NO<sub>x</sub>.
- air staging (zie bijlage 4 TF 5)

Lage NO<sub>x</sub> branders zijn reeds geruime tijd standaard voor gasgestookte ketels, en geven NO<sub>x</sub>-emissies lager dan 80-120 mg/Nm<sup>3</sup> bij 3% O<sub>2</sub> (ANN., 2006; Derden et al, juni 2005). Nieuwere (aard)gasbranders kunnen zelfs nog lagere NO<sub>x</sub>-emissieniveaus behalen, nl. < 70 mg/Nm<sup>3</sup> bij 3%O<sub>2</sub> (Derden et al., juni 2005 en ECN, maart 2008).

De beperkte set aan emissiegegevens van kleine/middelgrote gasbranders (2 installaties uit EMJV, 2007) op biogas tonen lage NO<sub>x</sub>-emissies vergelijkbaar met installaties op aardgas, 63-154 mg/Nm<sup>3</sup> bij 3% O<sub>2</sub>.

De niet-homogene samenstelling van biogassen kan weliswaar een negatieve impact hebben op de verbranding. Door constructeurs en leden van het BC wordt aangegeven dat verhoogde NO<sub>x</sub> emissies tov aardgas daarom mogelijk zijn (tot 10% hoger). Er zijn echter geen meetgegevens beschikbaar die deze stelling kunnen onderbouwen. Verder onderzoek/metingen zijn dus nodig.

Indien nodig kan een SCR de NO<sub>x</sub>-emissies verder verlagen (zie bijlage 4 TF 10). SCR-technologie wordt reeds op grote schaal toegepast bij een aantal grotere gasgestookte industriële stookinstallaties. Er zijn ons echter geen voorbeelden bekend van biogasinstallaties met nageschakelde SCR.

Ook hier moet rekening gehouden worden met versnelde afname van het rendement door contaminatie van de katalysator. Als probleem wordt genoemd dat verontreinigingen in de uitlaatgassen, m.n. siloxanen (o.a. terug te vinden in biogas afkomstig van de vergassing van RWZI slib), de oxidatiekatalysator beschadigen (zie § 4.2.3). Siloxanen kunnen door voorafgaande en reeds bestaande zuiveringstechnieken uit het biogas verwijderd worden om de katalysator te beschermen. Leveranciers van SCR-katalysatoren verwachten geen problemen bij biogas, maar blijken eigenlijk nog geen ervaring hiermee te hebben. Verder onderzoek is hier nodig.

#### **4.4.4. Technieken om emissies naar de atmosfeer te voorkomen of reduceren op stookinstallaties op gasvormige hernieuwbarebrandstoffen**

De eigenschappen van de hierboven aangegeven technieken worden samengevat in onderstaande tabel. Voor een volledige beschrijving verwijzen we naar de technische fiches (Bijlage 4).

Techniek	Milieuvoordeel	Toepasbaarheid		Operationele ervaring	Cross-media effecten	Kostenwerk nieuwe installatie in €/MWh	Opmerkingen
		Nieuw	Retrofit				
lage luchtvermaat	reductie van stof en verhoogde efficiëntie	mogelijk	mogelijk	veel			
Lage NOx branders	reductie van NOx	standaard	mogelijk	veel		geen meerkost, als standaard beschouwd	Bestaande installaties kunnen problemen ondervinden omwille van de vlamlengte van moderne lage NOx branders
SCR	reductie van NOx	mogelijk	mogelijk	beperkt	NH <sub>3</sub> -emissies	20.000 (kostprijs afhankelijk van het rookgasdebiet per uur)	

## **4.5. Emissiebeperkende maatregelen naar lucht bij het verbranden van gasvormige hernieuwbare brandstoffen in gasmotoren**

### **4.5.1. Reductie van stofemissies**

Biogas bevat weinig tot geen stofvormende elementen. Het verbranden van biogas in de gasmotor geeft dan ook geen problemen naar stof.

### **4.5.2. Reductie van SO<sub>2</sub>-emissies**

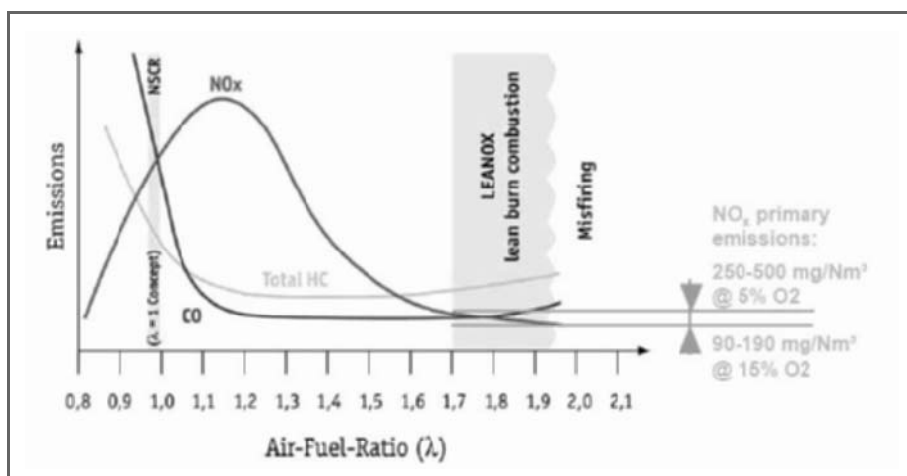
Gasvormige hernieuwbare brandstoffen, zoals ontzwaveld biogas en stortgas, bevatten slechts lage percentages S, 50-300 ppm of 7-40 g/GJ biogas. Deze lage S-gehalten leiden tot lage SO<sub>2</sub>-emissies, < 50 mg/Nm<sup>3</sup> bij 15% O<sub>2</sub>. Bij deze lage ruwe rookgasconcentraties zijn nageschakelde ontzwavelingstechnieken op de stookinstallaties niet kosteneffectief. Om de SO<sub>2</sub>-emissies verder te reduceren, zal het biogas vooraf verder ontzwaveld moeten worden.

### **4.5.3. Reductie van NO<sub>x</sub>-emissies**

#### *Bestaande motoren*

De belangrijkste parameter in de vorming van NO<sub>x</sub>-emissies bij motoren is de verbrandings-temperatuur; hoe hoger de verbrandingstemperatuur hoe hoger de NO<sub>x</sub>-concentratie in de rookgassen. Door de brandstof/lucht verhouding te verlagen kan de verbrandingstemperatuur worden beperkt. Dit wordt lean burn of arm-mengsel verbranding genoemd (zie bijlage 4 TF 8). Hiermee zijn volgens constructeurs emissieniveaus van 90-190 mg/Nm<sup>3</sup> bij 15% O<sub>2</sub> haalbaar (Euromot, 2008; pers. communicatie Wärtsila, 2008). Het verder wijzigen van de motorafstelling om nog lagere emissies te bekomen, is niet voor alle gasmotoren haalbaar. Wijziging van de afstelling om lagere NO<sub>x</sub>-emissies te bekomen kan een rendementsverlies geven.

In de beperkte meetrapporten van gasmotoren op biogas (2 motoren) en stortgas (2 motoren) worden wel lagere emissiewaarden gerapporteerd, m.n. 50-60 mg/Nm<sup>3</sup> bij 15% O<sub>2</sub> zonder nageschakelde afgasreiniging (zie Tabel 71).



**Figuur 20:** Weergaven van de relatie tussen de zuurstofovermaat ( $\lambda$ ) en de verbrandings-emissies van de motor (Euromot&EGTEI Round Table Meeting, februari 2008)

Indien nodig kan een SCR de NO<sub>x</sub>-emissies nog verder verlagen (zie bijlage 4 TF 10). Bij toepassing van SCR op gasmotoren wordt ureum als reagens gebruikt. Ook hier moet rekening gehouden worden met versnelde afname van het rendement door contaminatie van de katalysator. Er zijn (maart 2008) geen toepassingen bekend van SCR op biogasmotoren. Er dient verder onderzoek te gebeuren naar de afkomst en kwaliteit van het biogas op SCR installaties (ECN, maart 2008). Euromot geeft eveneens aan dat er nog geen SCR-katalysatoren voor biogasmotoren beschikbaar zijn. Als probleem wordt hier de aanwezigheid van sporenelementen en siloxanen (zie § 4.4.3), in de rookgassen vernoemd (Euromot, 2008). Anderzijds kan hierbij worden aangegeven dat SCR-technologie ook toegepast wordt bij bio-olie, welke tevens sporenelementen in de rookgassen bevat. Nader onderzoek is dus opportuun.

Gasmotoren worden vaak ook nog voorzien van een oxidatiekatalysator om CO te verwijderen. Afhankelijk van de samenstelling van het biogas is er eventueel een bijkomende reductie van NMVOS nodig. Hiertoe kan een oxidatiekatalysator voor CO en NMVOS worden ingezet.

**Tabel 82:** Overzicht berekende haalbare NO<sub>x</sub>-emissieniveaus met kandidaat BBT op bestaande gasmotoren (ECN, maart 2008, Wärstilä en Euromot, LCP BREF, juni 2006)

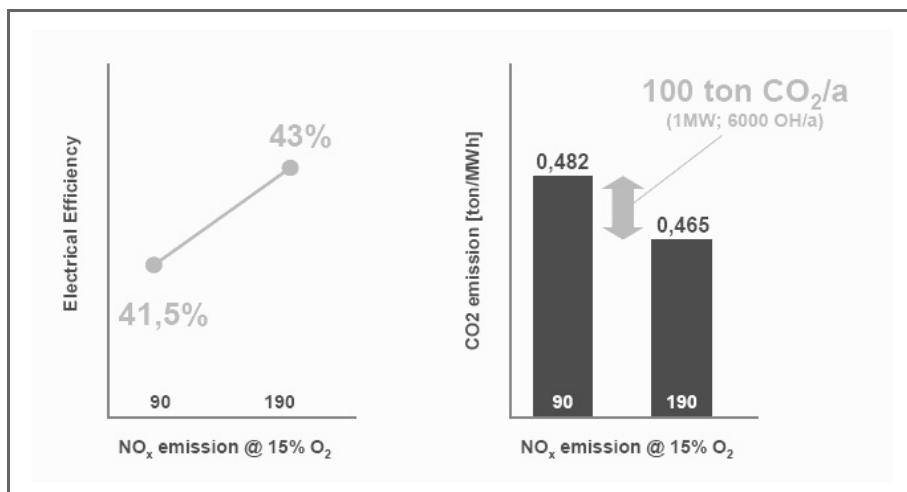
Maatregel	red. %	Berekende haalbare NO <sub>x</sub> -emissies (mg/Nm <sup>3</sup> ) bij 15%O <sub>2</sub>
Lean burn	standaard	190
SCR	85-95	20-30

### Nieuwe motoren

De nieuwe gasmotoren kunnen met primaire maatregelen nog lagere emissies halen, tot 90 mg/Nm<sup>3</sup> bij 15% O<sub>2</sub> (Euromot&EGTEI Round Table Meeting, februari 2008)). Leveranciers gaven aan dat verder onderzoek naar het optimaliseren van de verbrandingskamer voor lagere NO<sub>x</sub> én lage THC-emissies lopende is.



De inzet van primaire maatregelen heeft een negatief effect op het elektrische rendement van de motor (zie Figuur 21).



**Figuur 21:** Impact van primaire NO<sub>x</sub> reductie op CO-emissies en het elektrisch rendement van de motor (Euromot&EGTEI Round Table Meeting, februari 2008)

Tevens kan de niet-homogene samenstelling van biogassen een negatieve impact hebben op de verbranding. Verhoogde NO<sub>x</sub> emissies tov aardgas zijn daarom mogelijk (tot 10% hoger). Er zijn echter geen meetgegevens beschikbaar die deze stelling kunnen onderbouwen. Het behalen van deze lage emissieniveaus wordt momenteel voor biogassen nog verder onderzocht door de leveranciers. Hierbij wordt nagegaan hoe deze lage NO<sub>x</sub>-emissieniveaus kunnen behaald worden zonder hoge THC-emissies te genereren.

Indien nodig kan een SCR de NO<sub>x</sub>-emissies nog verder verlagen (zie boven). Verder onderzoek/metingen zijn nodig.

#### 4.5.4. Technieken om emissies naar de atmosfeer te voorkomen of reduceren op gasmotoren op gasvormige hernieuwbare brandstoffen

De eigenschappen van de hierboven aangegeven technieken worden samengevat in onderstaande tabel. Voor een volledige beschrijving verwijzen we naar de technische fiches (Bijlage 4).

Techniek	Milieuvoordeel	Toepasbaarheid		Operationele ervaring	Cross-media effecten	Kostewerk nieuwe installatie in €/MWh	Opmerkingen
		Nieuw	Retrofit				
Lean burn concept	reductie van NOx	standaard	niet mogelijk	veel	Rendementsverlies van 1%	-	Gasmotoren met lean burn worden vaak uitgerust met een oxidatietalysator voor CO verwijdering. NMVOS emissie hangen af van de samenstelling van het biogas
SCR	reductie van NOx	mogelijk	mogelijk	veel	NH <sub>3</sub> -emissies	60.000 (kostprijs afhankelijk van het rookgasdebiet per uur) Lagere kosten worden ook vermeld: ca. 12.000-20.000 (Wärtsilä, maart 2007) €50.000 (ECN maart 2008)	

## 4.6. Emissiebeperkende maatregelen naar lucht bij het verbranden van gasvormige hernieuwbare brandstoffen in gasturbines

### 4.6.1. Reductie van stofemissies

Biogas bevat weinig tot geen stofvormende elementen. Het verbranden van biogas in de gasturbine geeft dan ook geen problemen naar stof.

### 4.6.2. Reductie van SO<sub>2</sub>-emissies

Gasvormige hernieuwbare brandstoffen, zoals ontzwaveld biogas en stortgas, bevatten slechts lage percentages S, 50-300 ppm of 7-40 g/GJ biogas.. Deze lage S-gehalten leiden tot lage SO<sub>2</sub>-emissies, < 50 mg/Nm<sup>3</sup> bij 15% O<sub>2</sub>.

### 4.6.3. Reductie van NO<sub>x</sub>-emissies

#### *Bestaande gasturbines*

Bestaande gasturbines kunnen omgebouwd worden tot dry low NO<sub>x</sub> (DLN, zie bijlage 4 TF 8) branders. Deze techniek werd eerst voornamelijk toegepast op grote gasturbines maar vind ook meer en meer toepassing op kleinere installaties.

Bij dry low NO<sub>x</sub> branders wordt eerst de brandstof met de lucht gemengd om in een volgende stap dit mengsel te ontbranden. Door brandstof en lucht in een aparte stap te mengen wordt een homogeen brandstofmengsel bekomen wat resulteert in een homogene temperatuurverdeling en een lagere vlamtemperatuur. Dry low NO<sub>x</sub> is stand der techniek voor alle gasgestookte gasturbines. Er zijn lage NO<sub>x</sub>-emissies haalbaar, < 80 mg/Nm<sup>3</sup> bij 15% O<sub>2</sub> voor aardgasgestookte gasturbines (ANN., juni 2006; ECN, maart 2008).

Een andere techniek om de NO<sub>x</sub> emissies te beheersen is het toevoegen van water. Water en stoominjectie kan de verbrandingstemperatuur verlagen, wat de vorming van thermische NO<sub>x</sub> beperkt. Gasturbines in een WKK worden geïnjecteerd met stoom. Hiermee worden emissiereducties van 60-90% behaald. Er zijn echter technische beperkingen: verbrandingstechnisch dient de vlamstabiliteit bewaakt te worden en dient blow out vermeden te worden. Op niveau van emissies heeft (water)stoominjectie een negatieve invloed op CO- en C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>-emissies. Voor aardgas worden NO<sub>x</sub>-emissioniveaus van 80-120 mg/Nm<sup>3</sup> bij 15% O<sub>2</sub> aangegeven (ANN., juni 2006).

Indien geen primaire maatregelen kunnen ingezet worden, kan gebruik gemaakt worden van SCR om de emissies te verlagen. Er dient verder onderzoek te gebeuren naar de afkomst en kwaliteit van het biogas op SCR installaties, zie § 4.5.3 (ECN, maart 2008).

Er is één emissiewaarde voor het gebruik van biogas in gasturbines teruggevonden in de literatuur. Deze blijkt zeer laag, m.n. 50mg/Nm<sup>3</sup>. Deze lage waarde zijn mogelijk daar zij ook voor aardgasgestookte turbines worden gerapporteerd. Let wel dat bij het gebruik van biogas de emissies 10% hoger kunnen zijn omwille van de niet-homogene samenstelling van het biogas. Er zijn echter geen meetgegevens beschikbaar die deze stelling kunnen onderbouwen. Verder onderzoek/metingen zijn dus nodig.

**Tabel 83:** Overzicht haalbare NOx-emissieniveaus met kandidaat BBT op bestaande gasturbines op aardgas (ANN., juni 2006; ECN, maart 2008)

maatregel	Haalbare NOx-emissies (mg/Nm <sup>3</sup> ) bij 15%O <sub>2</sub>
geen	80-240
injectie stoom/water	80-120
DLN	55-80
SCR	35

#### Nieuwe gasturbines

Nieuwe gasturbines zijn allen voorzien van het DLN principe, waarmee lage NOx emissies gehaald worden. Hiermee blijken voor zeer grote gasturbines (o.a. nieuwe STEG's) emissieniveaus van 20-35 mg NOx/Nm<sup>3</sup> haalbaar, voor de meeste kleinere gasturbines nog niet (ANN., juni 2006; ECN, maart 2008).

Nageschakeling van een SCR is eveneens mogelijk. Er dient verder onderzoek te gebeuren naar de afkomst en kwaliteit van het biogas op SCR installaties (ECN, maart 2008).

Onderstaande tabel geeft eveneens haalbare emissieniveaus van aardgasgestookte gasturbines. Zoals reeds aangegeven zullen de haalbare emissies bij gebruik van biogas mogelijk met 10% verhogen. Er zijn echter geen meetgegevens beschikbaar die deze stelling kunnen onderbouwen. Verder onderzoek/metingen zijn dus nodig.

**Tabel 84:** Overzicht haalbare NOx-emissieniveaus met kandidaat BBT op nieuwe gasturbines op aardgas (ANN., juni 2006; ECN, maart 2008)

maatregel	Haalbare NOx-emissies (mg/Nm <sup>3</sup> ) bij 15%O <sub>2</sub>
DLN standaard, of SCR <sup>1</sup>	20-50

1. Voor het behalen van zeer lage emissieniveaus < 35 mg/Nm<sup>3</sup> bij kleine/middelgrote gasturbines

#### 4.6.4. Technieken om emissies naar de atmosfeer te voorkomen of reduceren op gasturbines op gasvormige hernieuwbare brandstoffen

De eigenschappen van de hierboven aangegeven technieken worden samengevat in onderstaande tabel. Voor een volledige beschrijving verwijzen we naar de technische fiches (Bijlage 4).

**Tabel 85:** *Overzicht van technieken om emissies naar de atmosfeer te voorkomen of te reduceren op gasturbines op gasvormige hernieuwbare brandstoffen*

Techniek	Milieuvoordeel	Toepasbaarheid		Operationele ervaring	Cross-media effecten	Kostenwerk nieuwe installatie in €/MWh	Opmerkingen
		Nieuw	Retrofit				
directe stoominjectie	reductie van NOx	-	mogelijk	veel	verhoogd brandstofverbruik en negatieve invloed op CO en CxHy emissies	1.200-17.000	
directe waterinjectie	reductie van NOx	-	mogelijk	veel	verhoogd brandstofverbruik en negatieve invloed op CO en CxHy emissies	1.200-17.000	
Dry low NOx	reductie van NOx	standaard	Mogelijk, afhankelijk van de gasturbine	veel		retrofitkosten 20.000-40.000	Momenteel zijn alle nieuwe gasturbines uitgerust met DLN. In geval omschakeling van de bestaande turbines mogelijk is gaan hiermee hoge kosten gepaard (tot 50% van de kosten van een nieuwe turbine)
SCR	reductie van NOx	mogelijk	mogelijk	veel	NH <sub>3</sub> -emissies	60.000 <sup>1</sup>	

1. Voor motoren worden lagere kostprijzen vermeld: ca. € 12.000-20.000 (Wärtsilä, maart 2007) en €50.000 (ECN maart 2008)

## 4.7. Verhogen energie-efficiëntie

De efficiëntie van een verbrandingsinstallatie hangt nauw samen met de aard van de brandstof en de temperatuur van de omgevingslucht. Hoewel een aantal parameters de energie-efficiëntie kunnen verhogen:

- Het vochtgehalte van de brandstof: door het verlagen van het vochtgehalte van 60% naar 40% kan de thermische efficiëntie van de installatie met 10% toenemen. Dit kan echter een negatief effect hebben op de NO<sub>x</sub>-emissies.
- Onverbrande koolwaterstoffen in de assen: optimalisatie van de verbranding leidt tot minder onverbrande koolwaterstoffen in de assen. NO<sub>x</sub> maatregelen kunnen hierop echter een negatief effect hebben en de onverbrande koolwaterstoffen doen toenemen.
- Luchtvermaat: de hoeveelheid luchtvermaat hangt af van de ketel, vb.3-5% voor oliegestookte ketels. Omwille van de kwaliteit van de verbranding (gerelateerd aan de vorming van CO en onverbrande koolwaterstoffen), corrosie en veiligheid is het vaak niet mogelijk de luchtvermaat verder te verlagen. Het verlagen van het zuurstofgehalte met 1% geeft een verbetering van het thermisch rendement met ca. 1%.
- Rookgastemperatuur: de rookgassen die de ketel verlaten hebben een temperatuur tussen 120 en 220°C (afhankelijk van het type ketel), om corrosie door condensatie van zwavelzuur te vermijden. Door het condenseren van de rookgassen kan de warmte uit de rookgassen worden teruggewonnen. Condensatie van de rookgassen geeft 17-30% verbetering van het thermisch rendement van de installatie.

## 4.8. Emissiebeperkende maatregelen naar water

Er kunnen verschillende, doch beperkte, afwaterwaterstromen vrijkomen bij verbrandingsinstallaties voor hernieuwbare brandstoffen:

- afvalwater afkomstig van de afwatering van de biomassa-opslagplaats: de ondergrond van de opslagplaats wordt waterdicht uitgevoerd en de opslagplaats afgedekt
- oppervlaktewater van het bedrijfsterrein: de vervuiling van het water van de bedrijfsterreinen zelf is in normale omstandigheden verwaarloosbaar en dient aldus niet behandeld te worden. Ook al is de belasting met smeer- en hydraulische oliën beperkt, wordt toch het gebruik van biologisch afbreekbare oliën aanbevolen.
- condensaat van de drooginstallatie: deze condensaatstromen bevatten biologische afbreekbare componenten waarvan de hoeveelheden afhangen van de temperatuur waarop de droging plaatsvindt. Deze stromen kunnen zonder behandeling worden afgevoerd zonder risico voor het milieu.
- condensaatstromen van rookgascondensatie: deze bevatten meerdere schadelijke elementen, waarvan de zware metalen het meeste risico inhouden voor het milieu. De meeste zware metalen zullen weliswaar in het condensaatstlib zitten. Dit kan afgescheiden worden van het condensaat. Kennis over het condensaat en het stlib en de samenstelling is van belang om een gepaste behandeling (sedimentatie of m.b.v. filters) van het condensaat en het stlib mogelijk te maken voordat het geloosd/verwijderd wordt.

## 4.9. Maatregelen naar geluid

De bronnen van geluidshinder bij verbrandingsinstallaties zijn voornamelijk terug te brengen op het transport (op- en overslag) van de brandstoffen, gebruikte pompen, versnippermachines en dergelijke, en de motoren en branders op zich.

Om hinder te beperken kunnen de installaties ondergebracht worden in gebouwen of geluidsdichte containers en kan de aan- en afvoer op de bedrijfsterreinen overdag plaatsvinden.

## 4.10. Maatregelen naar warmte

De vrijgekomen warmte wordt door middel van koelwater en warmtewisselaars onttrokken en zoveel mogelijk herbenut. Dit kan door de onttrokken warmte te gebruiken voor het verwarmen van gebouwen of in te zetten bij het drogen van biomassa.

## 4.11. Maatregelen naar afval

Bij verbranden van vaste biomassa komt een hoeveelheid assen vrij. De kwaliteiten van deze assen worden bepaald door de samenstelling van de biomassa (zie voorgaande paragrafen), m.n. asgehalte en concentratie aan mineralen en metalen en andere contaminanten aanwezig door het productieproces of voorgaande toepassingen van de biomassa.

Momenteel worden deze assen voornamelijk gestort. Eventueel is het ook mogelijk deze te hergebruiken als meststoffen op akkers of in bossen. Om dit hergebruik maximaal toe te laten worden de volgende maatregelen in acht genomen:

- De vliegassen uit de filter is de kleinste asfractie en is verrijkt met zware metalen. Deze fractie dient dan ook afzonderlijk te worden verzameld en verwijderd;
- Om zware metalen uit de assen te verwijderen zonder daarbij mineralen af te scheiden, is het aan te raden om een multicycloon te plaatsen voor een filtervliegprecipitator. De mineralen uit de asfractie worden afgescheiden door de multicycloon en kunnen zo worden gerecycleerd, terwijl de zware metalen in de vliegprecipitator worden afgescheiden.
- Verdere ontwikkelingen in biomassaverbrandingstechnieken focussen op de zware metaal fractionering door middel van gepaste primaire maatregelen om zo het gehalte aan vluchtige zware metalen in het filtervlieg te reduceren. Aldus wordt het gehalte aan zware metalen in de bruikbare assen beperkt en garandeert men een stabiele en duurzame inzet van biomassa op lange termijn.

In deze studie worden de mogelijke voorbehandelingen (o.a. uitloging en thermische behandeling) van de assen voor hergebruik niet verder uitgewerkt.

Verder komen nog andere afvalstoffen voor:

- machine-, transmissie- en smeeroïlen
- absorptie- en filtermaterialen met inbegrip van oliefilters
- batterijen en accumulatoren
- ontstekingskaarsen

Deze worden op gepaste wijze afgevoerd en opgehaald.





## **Hoofdstuk 5**                      **SELECTIE VAN DE BESTE BESCHIKBARE TECHNIEKEN (BBT)**

*In dit hoofdstuk evalueren we de milieuvriendelijke technieken uit hoofdstuk 4 naar hun technische haalbaarheid, milieu-impact en kosteneffectiviteit, en geven we aan of de aangehaalde milieuvriendelijke technieken al dan niet als BBT aanzien kunnen worden voor het verbranden van hernieuwbare brandstoffen.*

*De in dit hoofdstuk geselecteerde BBT worden als BBT beschouwd voor het verbranden van hernieuwbare brandstoffen, en kosteneffectief zijn. Dit wil niet zeggen dat elk bedrijf ook zonder meer elke techniek die als BBT aangegeven wordt, kan toepassen. De bedrijfspecifieke omstandigheden moeten steeds in acht genomen worden.*

*De BBT-selectie in dit hoofdstuk mag niet als een losstaand gegeven gebruikt worden, maar moet in het globale kader van de studie gezien worden. Dit betekent dat men zowel rekening dient te houden met de beschrijving van de milieuvriendelijke technieken in hoofdstuk 4 als met de vertaling van de BBT-selectie naar aanbevelingen en concretisering van de milieuregelgeving in hoofdstuk 6.*

### **5.1.        Evaluatie van de beschikbare milieuvriendelijke technieken- algemene methodologie**

In Tabel 95 worden de beschikbare milieuvriendelijke technieken uit hoofdstuk 4 getoetst aan een aantal criteria. Deze multi-criteria analyse laat toe te oordelen of een techniek als Beste Beschikbare Techniek (BBT) kan beschouwd worden. De criteria hebben niet alleen betrekking op de milieucompartimenten (water, lucht, bodem, afval, energie en geluid), maar ook de technische haalbaarheid en de economische aspecten worden beschouwd. In hoofdstuk 4 werd op basis van gegeven, ongesaneerde, basisemissies gekeken welke emissies haalbaar zijn door toepassen van de beschikbare technieken en welke kost hiermee verbonden is. Er werd bij deze berekening uitgegaan van standaardrendementen, emissieconcentraties berekend uitgaande van de samenstelling van enkele vaste hernieuwbare brandstoffen en kostprijzen, zoals deze in de literatuur zijn teruggevonden. Hierbij kan dus opgemerkt worden dat een bepaalde maatregel niet overal noodzakelijkerwijze hetzelfde rendement heeft en niet elke installatie die emissieconcentraties behaalt; dit hangt af van het type en de leeftijd van de installatie, van externe omstandigheden, ...

Toelichting bij de inhoud van de criteria in Tabel 95:

#### *Technische haalbaarheid*

*bewezen:        geeft aan of de techniek zijn nut bewezen heeft in de industriële praktijk (“-”: niet bewezen; “+”: wel bewezen);*

*veiligheid:     geeft aan of de techniek, bij correcte toepassing van de gepaste veiligheidsmaatregelen, aanleiding geeft tot een verhoging van de risico's op brand, ontploffing en arbeidsongevallen in het algemeen (“-”: verhoogt risico; “0”: verhoogt risico niet; “+”: verlaagt risico);*

- kwaliteit:* geeft aan of de techniek een invloed heeft op de kwaliteit van het eindproduct (“-”: verlaagt kwaliteit; “0”: geen effect op kwaliteit; “+”: verhoogt kwaliteit);
- globaal:* schat de globale technische haalbaarheid van de techniek in (“+”: als voorgaande alle “+” of “0”; “-”: als minstens één van voorgaande “-”).

#### *Milieuvoordeel*

- afvalwater:* inbreng van verontreinigde stoffen in het water tengevolge van de exploitatie van de inrichting;
- lucht:* inbreng van verontreinigde stoffen in de atmosfeer tengevolge van de exploitatie van de inrichting;
- bodem* inbrengen van verontreinigde stoffen in de bodem en het grondwater tengevolge van de exploitatie van de inrichting;
- afval:* het voorkomen en beheersen van afvalstromen;
- energie:* energiebesparingen, inschakelen van milieuvriendelijke energiebronnen en hergebruik van energie;
- globaal:* ingeschatte invloed op het gehele milieu.

Per techniek wordt voor elk van bovenstaande criteria een kwalitatieve beoordeling gegeven, waarbij:

- “-”: negatief effect;
- “0”: geen/verwaarloosbare impact;
- “+”: positief effect;
- “+/-”: soms een positief effect, soms een negatief effect.

#### *Economische beoordeling*

- “+”: de techniek is kosteneffectief, zie verder in deze paragraaf onder punt 3.1;
- “-”: de techniek is niet kosteneffectief, zie verder in deze paragraaf onder punt 3.1;
- “+/-”: kosteneffectiviteit bevindt zich binnen de range, zie verder in deze paragraaf onder punt 3.1. Deze techniek zal geval per geval geëvalueerd moeten worden op zijn economische haalbaarheid;
- “0”: kosteneffectiviteit is niet beoordeeld maar de techniek wordt algemeen kostenhaalbaar beschouwd (enkel voor stof-, NO<sub>x</sub>, en SO<sub>2</sub>-reducerende maatregelen is een gedetailleerde kostenanalyse uitgevoerd).

Uiteindelijk wordt in de laatste kolom telkens beoordeeld of de beschouwde techniek als beste beschikbare techniek kan geselecteerd worden (**BBT: ja** of **BBT: nee**). Waar dit sterk afhankelijk is van de beschouwde instelling en/of lokale omstandigheden wordt **BBT: vgtg** (van geval tot geval) als beoordeling gegeven.

Het proces dat gevolgd wordt bij de BBT-selectie, is schematisch voorgesteld in Figuur 23.

#### *1. Technische evaluatie*

Eerst wordt nagegaan of de techniek (de zogenaamde “kandidaat BBT”) technisch haalbaar is, waarbij rekening wordt gehouden met de kwaliteit van het product en de veiligheid (stap 1).

## 2. Milieuvoordeel

Wanneer de techniek technisch haalbaar is, wordt nagegaan wat het effect is op de verschillende milieucapartimenten (stap 2). Door een afweging van de effecten op de verschillende milieucapartimenten te doen, kan een globaal milieuvoordeel geveld worden. Om dit laatste te bepalen worden de volgende elementen in rekening gebracht:

Zijn één of meerdere milieuscores positief en géén negatief, dan is het globaal effect steeds positief;

Zijn er zowel positieve als negatieve scores dan is het globaal milieu-effect afhankelijk van de volgende elementen:

1. de verschuiving van een minder controleerbaar naar een meer controleerbaar compartiment (bijvoorbeeld van lucht naar afval);
2. relatief grotere reductie in het ene compartiment ten opzichte van toename in het andere compartiment;
3. de wenselijkheid van reductie gesteld vanuit het beleid; onder andere afgeleid uit de milieukwaliteitsdoelstellingen voor water, lucht, ... (bijvoorbeeld "distance-to-target" benadering). Specifiek in deze studie werd het voldoen aan de nieuwe Europese richtlijn voor grote stookinstallaties (Richtlijn van het Europees Parlement en de Raad inzake de beperking van de emissies van bepaalde verontreinigende stoffen in de lucht door grote stookinstallaties, 2001) als voorwaarde beschouwd.

## 3. Economische evaluatie

Wanneer het globaal milieu-effect positief is, wordt nagegaan of de techniek bijkomende kosten met zich meebrengt, of deze kosten in een redelijke verhouding staan tot de bereikte milieuwinst (stap 3). Deze beoordeling kan onder meer gebaseerd zijn op:

- (i) kosteneffectiviteit van de maatregel met deze techniek,
- (ii) BBT-selecties uitgevoerd in andere (buitenlandse) vergelijkbare studies, en
- (iii) ervaring van exploitanten en adviezen gegeven door het begeleidingscomité.

In deze studie is, in samenspraak met het begeleidingscomité, gekozen om kosteneffectiviteit als beoordelingscriterium te hanteren.

### 3.1 Kosteneffectiviteit:

Om na te gaan of de kosten van NO<sub>x</sub>-, stof- en SO<sub>2</sub>-reducerende technieken nog redelijk zijn in verhouding met het behaalde milieuresultaat, wordt een beoordeling van de kosteneffectiviteit aangegeven.

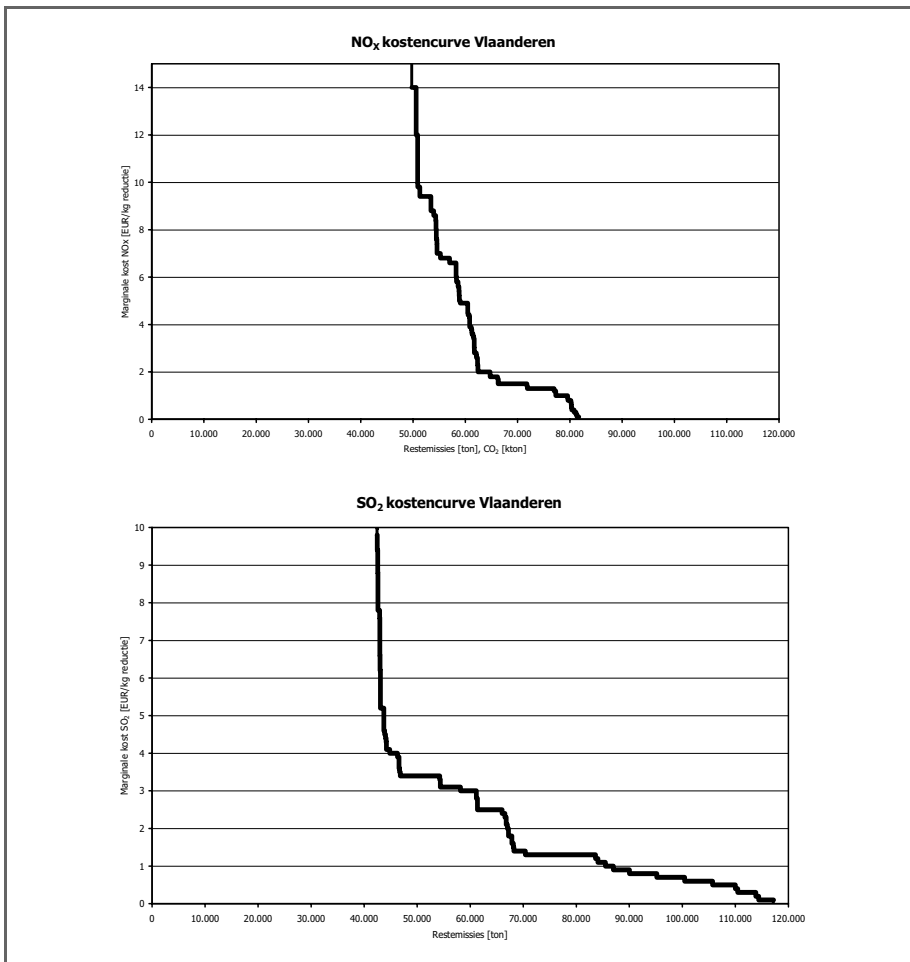
In de BBT-studies wordt hiervoor doorgaans gewerkt met de door het Nederlandse ministerie VROM gepubliceerde *indicatieve referentiewaarden*. Dit zijn een soort standaarden voor de beoordeling van de kosteneffectiviteit van maatregelen die de uitstoot van NO<sub>x</sub>, stof en SO<sub>2</sub> moeten terugdringen. Deze waarden zijn afgeleid van een inventarisatie van de kosteneffectiviteit van concrete, reeds (deels) uitgevoerde maatregelen door bedrijven in Nederland.

**Tabel 86:** Referentiewaarden voor beoordelen van kosteneffectiviteit van een maatregel (VROM, 2001)

Polluent	Indicatieve referentiewaarde (euro per kg reductie)
NO <sub>x</sub>	5
SO <sub>2</sub> , en stof	2,5

Anderzijds kan ook gekeken worden naar de opgestelde kostencurven uit de studie betreffende de intersectorale afweging van haalbare en kosteneffectieve maatregelen in Vlaanderen ter reductie van NO<sub>x</sub>- en SO<sub>2</sub>-emissies (ANN., juli 2005). Een kostencurve gaat voor één pollutant na wat de meest kosteneffectieve oplossing is voor het halen van verschillende reducties. Hierin zien we duidelijk dat een verregaande reductie leidt tot een stijging van de kosten (zie Figuur 22). Zolang de stijging van de kosten gelijk opgaat met de gerealiseerde reductie, kan deze techniek nog worden verlangd. Vaak zal er een duidelijk ‘knik’ zitten in de relatie tussen milieuverdienste enerzijds en kosten anderzijds. Dit zal optreden indien moet overgeschakeld worden op een geheel andere of aanvullende techniek ten einde lagere concentraties te bereiken. Tegenover een beperkte toename van milieuverdienste staat dan een onevenredige grote toename van de kosten.

Uit deze kostencurven blijkt dat dit ‘knikpunt’ voor SO<sub>2</sub>-reductie tussen €1,5-3,5/kg SO<sub>2</sub> ligt en voor NO<sub>x</sub>-reductie blijkt dit knikpunt tussen 2 en 9 €/kg NO<sub>x</sub> te liggen.



**Figuur 22:** Kostencurven opgesteld voor de inschatting van de potentiële NO<sub>x</sub>-(boven) en SO<sub>x</sub>(onder)-reductie voor Vlaanderen (ANN., juli 2005)

Voor de afweging van BBT worden twee scenario's bekeken, welke de twee studies (VROM – ANN., juli 2005) combineren:

In scenario 1 (conservatief scenario) nemen we de referentiewaarden van VROM met een spreiding naar beneden op basis van de kostencurven. De toetsingcriteria liggen tussen € 3-5/kg NOx verwijderd en € 1,5-2,5/kg SO<sub>2</sub> verwijderd.

In scenario 2 (progressief scenario) vertrekken opnieuw van de VROM referentiewaarden en hanteren een spreiding naar boven, gebaseerd op de knikpunten uit de kostencurven. De toetsingcriteria liggen hierbij dan tussen € 5-7/kg NOx verwijderd en € 2,5-3,5/kg SO<sub>2</sub> verwijderd

Voor stof worden dezelfde scenario's gebruikt als voor SO<sub>2</sub>.

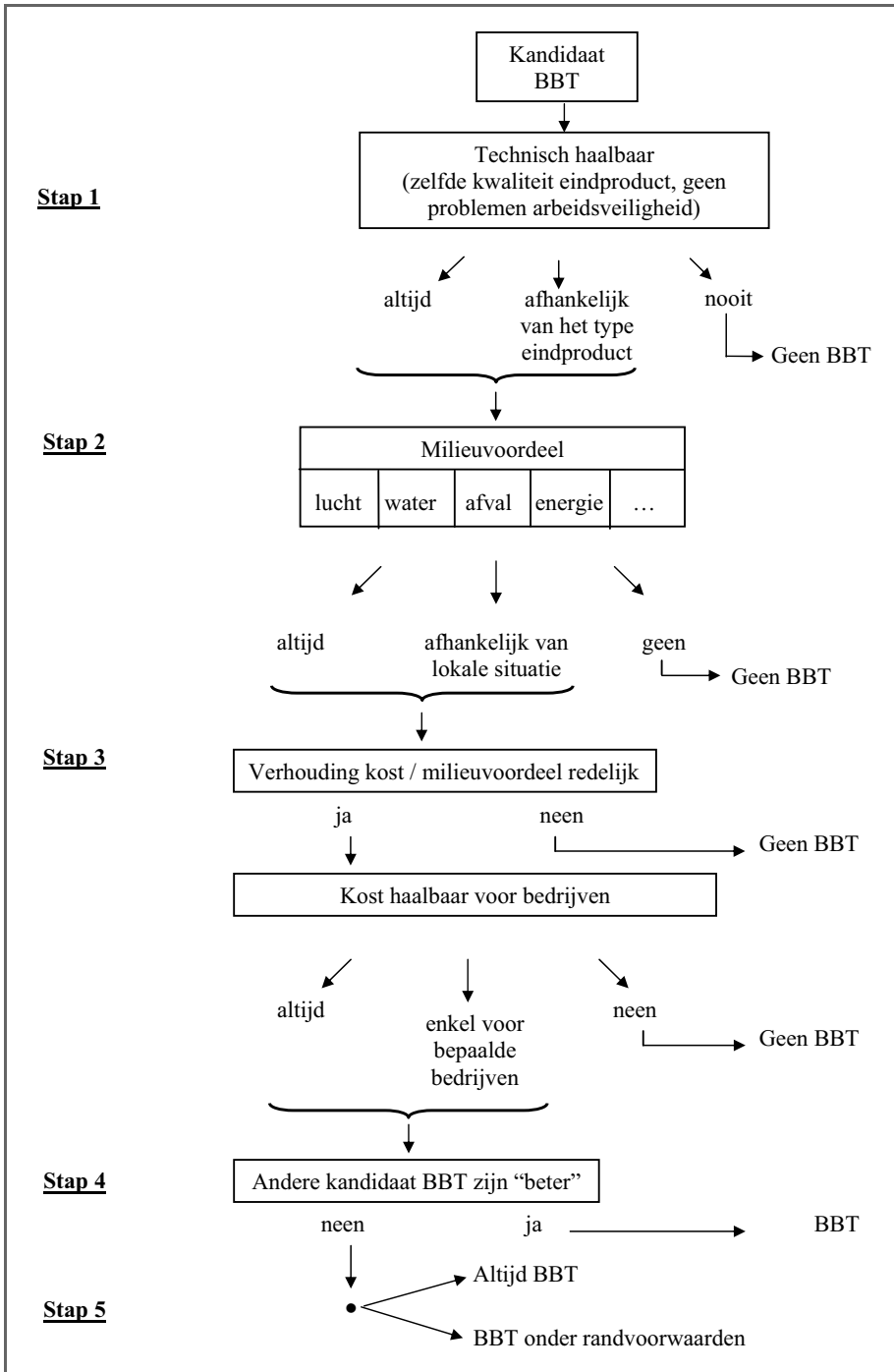
Indien de kosteneffectiviteit van een kandidaat BBT minder gunstig is dan de bovenste waarde van deze range, wordt deze als niet kosteneffectief beschouwd (score -) en niet weerhouden als BBT. In het geval de kosteneffectiviteit lager ligt dan de onderste waarde van deze range, wordt score + toegekend.

Wanneer de kosteneffectiviteit zich binnen de range bevindt, zal deze techniek geval per geval geëvalueerd moeten worden op zijn economische haalbaarheid (score +/-).

Daar de kostprijzen, gegeven in bijlage 3, gemiddelde waarden zijn van kosten voor nieuwe installaties, zullen bij bestaande bedrijven hogere kosteneffectiviteiten bekomen worden.

#### 4. BBT selectie

Uiteindelijk wordt beoordeeld of de beschouwde techniek als beste beschikbare techniek (BBT) kan geselecteerd worden (stap 5). Een techniek is BBT indien hij technisch haalbaar is, een verbetering brengt voor het milieu (globaal gezien), economisch haalbaar is (beoordeling “-” of hoger), en indien er geen “betere” kandidaat BBT bestaan. Waar dit sterk afhankelijk is van de beschouwde instelling en/of lokale omstandigheden kunnen aan de BBT-selectie randvoorwaarden gekoppeld worden.



*Figuur 23: Selecteren van BBT op basis van de scores voor de verschillende criteria*

## 5.2. BBT-evaluatie – specifieke aanpak

### 5.2.1. Bepalen haalbaar emissieniveau

Voor het bepalen van de BBT voor het reduceren van NO<sub>x</sub>-, SO<sub>2</sub>- en stofemissies bij het verbranden van hernieuwbare brandstoffen zijn per type brandstof (vast, vloeibaar, gasvormig) verschillende methoden gebruikt voor het bepalen van het haalbaar emissieniveau. Deze verschillen in aanpak zijn te wijten aan het gebrek aan meetgegevens voor de verschillende brandstoffen besproken in deze studie.

Zoals reeds aangegeven in de inleiding van hoofdstuk 4, zijn voor grote installaties geen gegevens beschikbaar, op deze uit de LCP BREF (ANN., juni 2006) na. Voor deze installaties worden in dit rapport geen verdere evaluaties uitgevoerd. Hiervoor wordt verwezen naar de LCP BREF. Let op: het haalbaar emissieniveau voor gasvormige en vloeibare hernieuwbare brandstoffen wordt mogelijk negatief beïnvloed door de niet-homogene samenstelling van de brandstof en andere verbrandingskarakteristieken (zie § 3.7.2.2 en 3.7.2.3).

Er moet bij de interpretatie van de resultaten van deze studie rekening worden gehouden met het feit dat er met berekende waarden gewerkt wordt.

- **Vaste brandstoffen**

Zoals reeds aangegeven in hoofdstuk 3, § 3.7.2, zijn voor de vaste brandstoffen de ‘ruwe’ rookgasconcentratie berekend op basis van de samenstelling (N, S en as-gehalte in de brandstof) van de brandstof. Hierbij is geen onderscheid gemaakt tussen nieuwe of bestaande installaties: er wordt uitgegaan van de situatie waarbij zowel nieuwe als bestaande installaties reeds uitgerust zijn met primaire maatregelen, met name optimalisatie van de verbranding en overfire air.

Voor stof wordt ook gewerkt met de gegevens aangeleverd door constructeurs en leveranciers (leden van het begeleidingscomité), en afgetoetst aan de gegevens uit de meetrapporten. Deze basisgegevens houden reeds rekening met een multicycloon als nageschakelde techniek.

- **Vloeibare en gasvormige brandstoffen**

Voor vloeibare en gasvormige brandstoffen is het echter niet mogelijk de rookgasconcentraties te bepalen op basis van theoretische berekeningen, uitgaande van de N-inhoud. Dit is te wijten aan het feit dat bij vloeibare en gasvormige brandstoffen de thermische NO<sub>x</sub>-emissies een grotere bijdrage leveren in de totale NO<sub>x</sub>-emissies en deze moeilijk te berekenen zijn.

### 5.2.2. Aanpak economische analyse

Om de kandidaat BBT te evalueren is een economische analyse uitgevoerd. Deze economische analyse omvat het bepalen van de kosteneffectiviteit, zie § 5.1. Voor het bepalen van de kosten en baten van de milieumaatregelen zijn een aantal aannames gebeurd. Deze worden, samen met een aantal voorbeelden van het gedetailleerd rekenmodel per brandstof, weergegeven in bijlage 3.

Hierbij kan algemeen opgemerkt worden dat zowel de investeringskost, de operationele kost als het rendement afhankelijk zijn van een hele reeks site-specifieke factoren. Naast het debiet en de concentratie van de afgasstroom en het al dan niet continue karakter zijn bijvoorbeeld ook de temperatuur en de druk van de afgasstroom belangrijk met betrekking tot kost en rendement. Daarnaast zijn ook de materiaalvereisten en de ontwerpcodes belangrijke kostfactoren. Ook de locatie kan de kost significant beïnvloeden. Tenslotte dient rekening gehouden met mogelijke veiligheidsrisico's, de beschikbaarheid van nutsvoorzieningen en de beschikbaarheid en de mogelijkheden tot verwerking van hulpstoffen.

Met name voor bestaande installaties zullen de installatiekosten van de techniek een grote invloed hebben op de totale investeringskost. Deze verschillen sterk van installatie tot installatie. De installatiekosten voor retrofittoepassingen worden ingeschat op 2 tot 4 keer de apparaatkost.

Daar de meeste van de bovenstaande factoren niet gekend zijn en een individuele benadering van de verschillende installaties niet mogelijk is, is het duidelijk dat de gerapporteerde kosten en rendementen enkel een indicatief karakter hebben.

De kosten zoals aangegeven in hoofdstuk 4 worden beschouwd als de 'basisinvestering', zijnde de investering voor nieuwe installaties.

Om een inschatting te maken van de invloed van de aannames voor de kosten en baten op het resultaat, is een gevoeligheidsanalyse opgesteld. Deze is terug te vinden in bijlage 3.

Belangrijkste conclusie uit deze gevoeligheidsanalyse is dat de investeringskost (apparaatkost + installatiekost) de meest bepalende factor is in het berekenen van de kosteneffectiviteit. Dit wil zeggen dat fouten in de aannames op de kosten tot grotere fouten zal leiden op de berekende kosteneffectiviteit. Een variatie van de investeringskost met 50-100%, kan over het algemeen een verschuiving in het resultaat geven; van een lage waarde van de kosteneffectiviteit naar een hoge waarde van de kosteneffectiviteit.

In de besluitvorming zal dan ook een onderscheid gemaakt worden tussen nieuwe en bestaande installaties op basis van dit verschil in investeringskosten:

- Voor bestaande installaties wordt door de operatoren aangegeven dat bij retrofittoepassingen de investeringskosten sterk kunnen variëren van installatie tot installatie. De totale investeringskost wordt hier grotendeels bepaald door de complexiteit van de installatie van de apparatuur. Een meerprijs van 100 tot 200% worden hierbij aangegeven t.o.v. de basisinvestering. Voor bestaande installaties dient de milieumaatregel dan ook bij een meerkost van 200% kosteneffectief te zijn. Indien dit niet het geval is, is deze maatregel niet-BBT.
- Voor nieuwe installatie kan ervan uitgegaan worden dat er minder variatie zit op de investeringskosten tussen installaties. Voor nieuwe installaties wordt gekeken naar de kosteneffectiviteit van de basisinvestering. Indien kosteneffectief bij basisinvestering, is de milieumaatregel BBT.

### **5.3. BBT-evaluatie – resultaten berekening kosteneffectiviteit en gevoeligheidsanalyse**

Zoals aangegeven in § 5.1 wordt voor de economische beoordeling binnen de BBT-evaluatie gewerkt met de kosteneffectiviteit van de milieumaatregelen. In onderstaande tabellen worden de resultaten van deze berekeningen samengevat, opgesplitst volgens type brandstof en het gehanteerde scenario: conservatief (1) of progressief (2).



Meer informatie over de berekening van de kosteneffectiviteit en de gevoeligheidsanalyse is terug te vinden in bijlage 3.

### 5.3.1. Resultaten kosteneffectiviteit, bij basisinvestering

#### 5.3.1.1. Vaste hernieuwbare brandstoffen

- **Stof**

i) SCENARIO 1 – conservatief: Referentiewaarden: € < 1,5-2,5 /kg stof verwijderd

In onderstaande tabel zijn de resultaten voor scenario 1 samengevat. In kolom 2 worden de technieken waarvoor de kosteneffectiviteit lager is dan € 1,5/kg verwijderd stof gegeven. De derde kolom geeft de technieken waarvoor de kosteneffectiviteit zich tussen € 1,5 en € 2,5/kg verwijderd stof bevindt.

*OPMERKING:* Het haalbaar emissieniveau is berekend op basis van het as-gehalte in de brandstof en ingeschatte rendementen van de reductietechnieken. Onderstaande tabel geeft de resultaten voor een installatie met 6000 draaiuren per jaar.

**Tabel 87:** Overzicht resultaten beoordeling kosteneffectiviteit voor stof voor scenario 1

Asgehalte brandstof	< 1,5 €/kg stof verwijderd	> 1,5-< 2,5 €/kg stof verwijderd
	Kosteneffectieve technieken	
< 1%	Multicycloon of doekenfilter/ESP*	Multicycloon of doekenfilter/ESP*
> 1%	Doekenfilter/ESP	Doekenfilter/ESP

\* indien > 5MWth

ii) SCENARIO 2 – progressief: Referentiewaarden: € < 2,5-3,5 /kg stof verwijderd

In onderstaande tabel zijn de resultaten voor scenario 2 samengevat. In kolom 2 worden de technieken waarvoor de kosteneffectiviteit lager is dan € 2,5 /kg verwijderd stof gegeven. De derde kolom geeft de technieken waarvoor de kosteneffectiviteit zich tussen € 2,5 en € 3,5/kg verwijderd stof bevindt.

*OPMERKING:* Het haalbaar emissieniveau is berekend op basis van het as-gehalte in de brandstof en ingeschatte rendementen van de reductietechnieken. Onderstaande tabel geeft de resultaten voor een installatie met 6000 draaiuren per jaar.

**Tabel 88:** Overzicht resultaten beoordeling kosteneffectiviteit voor stof voor scenario 2

Asgehalte brandstof f	< 2,5 €/kg stof verwijderd	> 2,5-<3, 5 €/kg stof verwijderd
	Kosteneffectieve technieken	
< 1%	Multicycloon of doekenfilter/ESP*	Doekenfilter/ESP
> 1%	Doekenfilter/ESP	Doekenfilter/ESP

\* indien > 5MWth

- **NO<sub>x</sub>**

i) SCENARIO 1-conservatief: Referentiewaarden: € < 3-5 /kg NO<sub>x</sub> verwijderd

In onderstaande tabel zijn de resultaten voor scenario 1 voor de verschillende onderzochte vaste biomassafracties samengevat. In kolom 2 worden de technieken waarvoor de kosteneffectiviteit lager is dan € 3 /kg verwijderde NO<sub>x</sub> gegevens. De derde kolom geeft de technieken waarvoor de kosteneffectiviteit zich tussen € 3 en € 5/kg NO<sub>x</sub> verwijderd bevindt.

*OPMERKING:* Het haalbaar emissieniveau is berekend op basis van het N-gehalte in de brandstof en ingeschatte rendementen van de reductietechnieken.

Onderstaande tabel geeft de resultaten voor een installatie met 6000 draaiuren per jaar.

**Tabel 89:** Overzicht resultaten beoordeling kosteneffectiviteit voor NO<sub>x</sub> voor scenario 1

N-gehalte brandstof	< 3 €/kg NO <sub>x</sub> verwijderd	> 3-< 5 €/kg NO <sub>x</sub> verwijderd
	Kosteneffectieve technieken	
< 1%	OFA + SNCR eventueel met RGR	OFA + RGR + SNCR of SCR
1-5%	OFA + RGR + SNCR	OFA + RGR + SCR
>5%	OFA + RGR + SCR	OFA + RGR + SCR

ii) SCENARIO 2 – progressief: Referentiewaarden: € < 5-7 /kg NO<sub>x</sub> verwijderd

In onderstaande tabel zijn de resultaten voor scenario 2 voor de verschillende onderzochte vaste biomassafracties samengevat. In kolom 2 worden de technieken waarvoor de kosteneffectiviteit lager is dan € 5 /kg verwijderde NO<sub>x</sub> gegevens. De derde kolom geeft de technieken waarvoor de kosteneffectiviteit zich tussen € 5 en € 7/kg NO<sub>x</sub> verwijderd bevindt.

*OPMERKING:* Het haalbaar emissieniveau is berekend op basis van het N-gehalte in de brandstof en ingeschatte rendementen van de reductietechnieken. Onderstaande tabel geeft de resultaten voor een installatie met 6000 draaiuren per jaar.

**Tabel 90:** Overzicht resultaten beoordeling kosteneffectiviteit voor NO<sub>x</sub> voor scenario 2

N-gehalte brandstof	< 5 €/kg NO <sub>x</sub> verwijderd	> 5-< 7 €/kg NO <sub>x</sub> verwijderd
	Kosteneffectieve technieken	
< 1%	OFA + RGR + SNCR of SCR	OFA + RGR + SCR
> 1%	OFA + RGR + SCR	OFA + RGR + SCR

- **SO<sub>2</sub>**

Het S-gehalte van hout is over het algemeen laag, < 0,1% of < 150 mg/Nm<sup>3</sup> bij 6%O<sub>2</sub>. Nageschakelde ontzwaveling is hierdoor niet kosteneffectief. Vanaf SO<sub>2</sub> gehalten in de ruwe rookgassen van > 450 mg/Nm<sup>3</sup> worden nageschakelde ontzwavelingstechnieken kosteneffectief. De combinatie primaire maatregelen en nageschakelde maatregelen is in deze studie niet doorgerekend.

i) SCENARIO 1 – conservatief: Referentiewaarden: € < 1,5-2,5 /kg SO<sub>2</sub> verwijderd

In onderstaande tabel zijn de resultaten voor scenario 1 voor de S-rijke vaste biomassafracties samengevat. In kolom 2 worden de technieken waarvoor de kosteneffectiviteit lager is dan € 1,5

/kg verwijderde SO<sub>2</sub> gegevens. De derde kolom geeft de technieken waarvoor de kosteneffectiviteit zich tussen € 1,5 en € 3/kg SO<sub>2</sub> verwijderd bevindt.

*OPMERKING:* Het haalbaar emissieniveau is berekend op basis van het S-gehalte in de brandstof en ingeschatte rendementen van de reductietechnieken. Onderstaande tabel geeft de resultaten voor een installatie met 6000 draaiuren per jaar.

**Tabel 91:** Overzicht resultaten beoordeling voor SO<sub>2</sub> voor scenario 1

brandstof	< 1,5 €/kg SO <sub>x</sub> verwijderd	>1,5-< 2,5 €/kg NO <sub>x</sub> verwijderd
	Kosteneffectieve technieken	
0,5-1% S	Droog sorbent injectie	Droog sorbent injectie,
> 1% S	Droog sorbent injectie of half natte wassing*	Droog sorbent injectie of natte wassing*

\* indien > 20 MWth

ii) SCENARIO 2 – progressief: Referentiewaarden: € < 2,5-3,5 /kg SO<sub>2</sub> verwijderd

In onderstaande tabel zijn de resultaten voor scenario 2 voor de S-rijke vaste biomassafracties samengevat. In kolom 2 worden de technieken waarvoor de kosteneffectiviteit lager is dan € 2,5 /kg verwijderde SO<sub>x</sub> gegevens. De derde kolom geeft de technieken waarvoor de kosteneffectiviteit zich tussen € 2,5 en € 3,5/kg NO<sub>x</sub> verwijderd bevindt.

*OPMERKING:* Het haalbaar emissieniveau is berekend op basis van het S-gehalte in de brandstof en ingeschatte rendementen van de reductietechnieken. Onderstaande tabel geeft de resultaten voor een installatie met 6000 draaiuren per jaar.

**Tabel 92:** Overzicht resultaten beoordeling kosteneffectiviteit voor SO<sub>2</sub> voor scenario 2

brandstof	< 2,5 ?/kg SO <sub>x</sub> verwijderd	>2,5-<3,5 ?/kg NO <sub>x</sub> verwijderd
	Kosteneffectieve technieken	
0,5-1%S	droog sorbent injectie of natte wassing*	droog sorbent injectie of natte wassing*
> 1%S	Droog sorbent injectie of natte wassing*	Droog sorbent injectie of natte wassing*

\* indien > 20 MWth

### 5.3.1.2. Vloeibare hernieuwbare brandstoffen

- NO<sub>x</sub>

In onderstaande paragrafen zijn de resultaten voor scenario 1 en 2 voor vloeibare biomassafracties, m.n. dierlijke vetten, plantaardige olie en gerecycleerd frituurvet, samengevat. Onderstaande tabellen geven de resultaten voor een installatie met 6000 draaiuren per jaar.

#### a) Stookinstallaties

i) SCENARIO 1 – conservatief: Referentiewaarden: € < 3-5 /kg NO<sub>x</sub> verwijderd

In kolom 2 worden de technieken waarvoor de kosteneffectiviteit lager is dan € 3 /kg verwijderde NO<sub>x</sub> gegevens. De derde kolom geeft de technieken waarvoor de kosteneffectiviteit zich tussen € 3 en € 5/kg NO<sub>x</sub> verwijderd bevindt.

**Tabel 93:** *Overzicht resultaten beoordeling kosteneffectiviteit van de milieumaatregelen voor stookinstallaties op dierlijke vetten, plantaardige olie en gerecycleerd frituurvet bij een zuurstofpercentage van 3% onder scenario 1*

Capaciteit (MWth)	< 3 €/kg NO <sub>x</sub> verwijderd	> 3- < 5 €/kg NO <sub>x</sub> verwijderd
	Kosteneffectieve technieken	
< 5	Lage NO <sub>x</sub> branders + overfire air of rookgasrecirculatie + SNCR	Lage NO <sub>x</sub> branders + overfire air of rookgasrecirculatie + SCR
≥ 5-20		
≥ 20-50		

ii) SCENARIO 2 – progressief: Referentiewaarden: € < 5-7 /kg NO<sub>x</sub> verwijderd

Alle beschikbare milieumaatregelen blijken een kosteneffectiviteit < 5 €/kg NO<sub>x</sub> te hebben. De resultaten onder scenario 2 zijn dus gelijk aan deze gegeven in bovenstaande tabel.

#### b) Dieselmotoren

In onderstaande paragrafen zijn de resultaten voor scenario 1 en 2 voor vloeibare biomassafracties samengevat.

i) SCENARIO 1 – conservatief: Referentiewaarden: € < 3-5 /kg NO<sub>x</sub> verwijderd

In kolom 2 worden de technieken waarvoor de kosteneffectiviteit lager is dan € 3 /kg verwijderde NO<sub>x</sub> gegevens. De derde kolom geeft de technieken waarvoor de kosteneffectiviteit zich tussen € 3 en € 5/kg NO<sub>x</sub> verwijderd bevindt.

**Tabel 94:** *Overzicht resultaten berekeningen kosteneffectiviteit van de milieumaatregelen voor kleine en middelgrote scheepsmotoren op biofuels en zware stookolie bij een zuurstofpercentage van 15% onder scenario 1*

< 3 ?/kg NO <sub>x</sub> verwijderd	> 3- < 5 ?/kg NO <sub>x</sub> verwijderd
Kosteneffectieve technieken	
Injectie van stoom/water of SCR <sup>1</sup>	

1. Met red. rendement 87-96% voor < 5 MWth, 91-96% voor 5-20 MWth en 96% voor 20-35 MWth

ii) SCENARIO 2 – progressief: Referentiewaarden: € < 5-7 /kg NO<sub>x</sub> verwijderd

Uit bovenstaande blijkt dat alle beschikbare milieumaatregelen een kosteneffectiviteit < 3 €/kg NO<sub>x</sub> hebben. De resultaten onder scenario 2 zijn dus gelijk aan deze gegeven in bovenstaande tabel.

#### 5.3.1.3. Gasvormige hernieuwbare brandstoffen

##### • NO<sub>x</sub>

In onderstaande paragrafen zijn de resultaten voor scenario 1 en 2 voor biogas/stortgas samengevat. Onderstaande tabellen geven de resultaten voor een installatie met 6000 draaiuren per jaar.

*a) Stookinstallaties*

Voor bestaande stookinstallaties, met een emissieniveau  $> 100 \text{ mg/Nm}^3$ , heeft SCR een kosteneffectiviteit  $> 5\text{-}7 \text{ €/kg NOx}$ .

Bij de nieuwere generatie lage NOx branders, met een haalbaar emissieniveau  $< 70 \text{ mg/Nm}^3$ , loopt de kosteneffectiviteit op tot boven  $7 \text{ €/kg NOx}$  gereduceerd.

*b) Gasmotoren*

Uit de berekeningen blijkt dat SCR een kosteneffectiviteit  $< 5 \text{ €/kg NOx}$  heeft als uitgegaan wordt van een lean burn motor welke  $190 \text{ mg NOx/Nm}^3$  emitteert.

Ook bij de nieuwere generatie lage NOx branders, welke  $< 90 \text{ mg/Nm}^3$  geeft, is de kosteneffectiviteit eveneens  $< 5 \text{ €/kg NOx}$  gereduceerd indien wordt gewerkt met een kostprijs voor SCR van  $20.000 \text{ €/MWth}$ .

*c) Gasturbines*

Uit de berekeningen blijkt dat voor gasturbines welke niet omgebouwd kunnen worden met dry low NOx, SCR een kosteneffectiviteit  $< 3\text{-}5 \text{ €/kg NOx}$  heeft. Het injecteren van water/stoom bij deze generatie gasturbines heeft een kosteneffectiviteit van  $< 3 \text{ €/kg}$ .

Bij de nieuwere generatie gasturbines, welke voorzien zijn van dry NOx, ligt de kosteneffectiviteit ook  $< 5 \text{ €/kg NOx}$  gereduceerd indien wordt uitgegaan van een kostprijs van de SCR van  $20.000 \text{ €/MWth}$ .

**5.3.2. Resultaten kosteneffectiviteit, rekeninghoudend met gevoeligheidsanalyse****5.3.2.1. Vaste hernieuwbare brandstoffen**• **Stof**

Voor de beschouwde ontstoftingstechnieken stellen we onder het progressief scenario het volgende vast:

- multicycloon:
  - standaard techniek die voor alle installaties en voor alle brandstoffen, onafhankelijk van het as-gehalte en de meerkost, haalbaar is;
- electrofilter (nat en droog):
  - duurdere techniek in verhouding tot de haalbare milieuwinst in vergelijking met doekenfilter;
  - kosteneffectief voor middelgrote installaties voor brandstoffen met een asgehalte  $< 1\%$ , indien beperkte meerkost en de installaties  $> 4000$  draaiuren heeft.
  - kosteneffectief voor middelgrote installaties voor brandstoffen met een asgehalte  $> 1\%$ ,
    - ▲ indien beperkte meerkost en de installaties  $< 4000$  draaiuren heeft.
    - ▲ of, indien  $> 4000$  draaiuren
- doekenfilter:
  - kosteneffectief voor middelgrote installaties voor brandstoffen met een asgehalte  $< 1\%$ , indien beperkte meerkost en de installaties  $> 4000$  draaiuren heeft.

- kosteneffectief voor middelgrote installaties voor brandstoffen met een asgehalte > 1%,
  - ▲ indien beperkte meerkost en de installaties < 4000 draaiuren heeft.
  - ▲ of, indien > 4000 draaiuren

## • SO<sub>2</sub>

Voor de beschouwde deSOx-technieken stellen we onder het progressief scenario het volgende vast. DeSOx-technieken zijn enkel voor installaties met hoog S-gehalte (> 0,5% gew.%S) geëvalueerd.

- Droog sorbent injectie:
  - Dit is een kosteneffectieve techniek voor de meeste installaties, ongeacht de meerkost.
  - Kleine installaties (< 5MW) met < 2000 waarin brandstoffen met een laag S-gehalte (< 1%) worden gestookt vormen hierop een uitzondering.
- Half natte wassing
  - Deze techniek wordt enkel als technisch haalbaar beschouwd voor installaties > 20 MW.
  - Voor installaties op brandstoffen met < 1gew.% S indien de installatie meer dan 4000 draaiuren heeft, of de meerkost beperkt blijft.
  - Voor installaties waarin brandstoffen met een S-gehalte >1% worden gestookt is dit steeds een kosteneffectieve maatregel.
- Natte wassing
  - Deze techniek wordt enkel als technisch haalbaar beschouwd voor installaties > 20 MW.
  - Voor installaties op brandstoffen met < 1gew.% S indien de installatie meer dan 4000 draaiuren heeft én de meerkost beperkt blijft.
  - Voor installaties op brandstoffen met >1gew.% S indien de meerkost beperkt blijft.

## • NO<sub>x</sub>

Voor de beschouwde deNOx-technieken stellen we onder het progressief scenario het volgende vast:

- Rookgasrecirculatie:
  - dure techniek in verhouding tot de haalbare milieuwinst in vergelijking met andere deNOx-technieken;
- SNCR:
  - brandstoffen met N-gehalte > 1 gew.%:
    - ▲ SNCR is steeds kosteneffectief;
  - brandstoffen met een laag N-gehalte (< 1 gew.%):
    - ▲ > 4000 draaiuren is SNCR kosteneffectief;
    - ▲ bij minder draaiuren en beperkte meerkost (max. 50%) ook kosteneffectief;
- SCR:
  - brandstoffen met laag N-gehalte (< 1 gew.%):
    - ▲ > 4000 draaiuren per jaar en beperkte extra investering (max. 50%) kosteneffectief;
  - brandstoffen met N-gehalte > 1 gew.%:
    - ▲ > 4000 draaiuren altijd kosteneffectief;
    - ▲ bij minder draaiuren en beperkte meerkost ook kosteneffectief.

### 5.3.2.2. *Vloeibare hernieuwbare brandstoffen*

- **NO<sub>x</sub>**

#### a) *Stookinstallaties*

##### i) *Plantaardige vetten/oliën:*

###### *Bestaande installaties:*

- *SNCR* is kosteneffectief, voor installaties met > 4000 draaiuren of indien de meerkost beperkt (+50-100%) blijft;
- *SCR* is kosteneffectief voor installaties met > 4000 draaiuren én als de meerkost beperkt blijft (max.+50%);
- *combinaties van primaire en secundaire maatregelen* zijn kosteneffectief voor
  - *installaties* met < 6000 draaiuren, enkel primair met SNCR en dat als de meerkost beperkt blijft
  - *installaties* met > 6000 draaiuren:
    - ▲ primair en SNCR, ongeacht de meerkost
    - ▲ primair en SCR als meerkost beperkt blijft, max. +50%

###### *Nieuwe installaties:*

- optimalisatie primaire maatregelen: ultra low NO<sub>x</sub>
- *SNCR* is kosteneffectief, voor installaties met < 6000 draaiuren of indien de meerkost beperkt (+50-100%) blijft;
- *SCR* is kosteneffectief voor installaties met > 6000 draaiuren én als de meerkost beperkt blijft (max.+50%);

##### ii) *Dierlijke vetten:*

###### *Bestaande installaties:*

- *bijkomende primaire maatregelen* zijn kosteneffectief voor
  - *installaties* met minder dan 4000 draaiuren als de meerkost beperkt blijft (max.+50%);
  - *installaties* met > 4000 draaiuren, onafhankelijk van de meerkost;
- *SNCR* is altijd kosteneffectief, onafhankelijk van de meerkost;
- *SCR* is kosteneffectief voor:
  - *installaties* met < 4000 draaiuren als de meerkost beperkt blijft (max.+50%);
  - *installaties* met > 4000 draaiuren
- *combinaties van primaire en secundaire maatregelen* zijn kosteneffectief voor
  - *installaties* met < 4000 draaiuren als de meerkost beperkt blijft
  - *installaties* met > 4000 draaiuren als meerkost niet meer dan 150-200% bedraagt van de basisinvestering

###### *Nieuwe installaties:*

- *SNCR* is kosteneffectief, voor installaties met > 4000 draaiuren, of indien de meerkost beperkt (+50-100%) blijft;
- *SCR* is kosteneffectief voor installaties met > 4000 draaiuren én als de meerkost beperkt blijft (max.+50%);
- *combinaties van primaire en secundaire maatregelen* zijn kosteneffectief voor
  - *installaties* met < 6000 draaiuren, enkel primair met SNCR en dat als de meerkost beperkt blijft

- installaties met > 6000 draaiuren:
  - ▲ primair en SNCR, ongeacht de meerkost
  - ▲ primair en SCR als meerkost beperkt blijft, max. +50%

*b) Dieselmotoren op dierlijke en plantaardige vetten en oliën*

- SCR is de meest kosteneffectieve maatregel voor bestaande en nieuwe scheepsmotoren, onafhankelijk van de meerkost;
- *combinatie van SCR met injectie water/stoom* is ook kosteneffectief, onafhankelijk van de meerkost

**5.3.2.3. Gasvormige hernieuwbare brandstoffen**

• **NO<sub>x</sub>**

*a) Stookinstallaties op biogas*

- SCR is kosteneffectief voor bestaande installaties met > 6000 draaiuren als de meerkost beperkt blijft (max. +50%)
- Voor nieuwe installaties is het gebruik van lage NO<sub>x</sub> branders stand der techniek. Het bijkomend naschakelen van SCR is niet kosteneffectief.

*b) Gasmotoren en gasturbines op biogas*

- SCR is kosteneffectief voor bestaande installaties met > 4000 draaiuren als de meerkost beperkt blijft (max. 50%)
- Voor nieuwe motoren is het gebruik van lean burn voor gasmotoren of dry low NO<sub>x</sub> voor gasturbines stand der techniek. Het bijkomend naschakelen van SCR is niet kosteneffectief.



**Belangrijke opmerkingen bij het gebruik van Tabel 95:**

Bij het gebruik van onderstaande tabel mag men volgende aandachtspunten niet uit het oog verliezen:

*De beoordeling van de diverse criteria is onder meer gebaseerd op:*

- *ervaring van exploitanten met deze techniek;*
- *BBT-selecties uitgevoerd in andere (buitenlandse) vergelijkbare studies;*
- *adviezen gegeven door het begeleidingscomité.*
- *inschattingen door de auteurs*

*Waar nodig, wordt in een voetnoot bijkomende toelichting verschaft. Voor de betekenis van de criteria en de scores wordt verwezen naar paragraaf 5.1.*

*De beoordeling van de criteria is als indicatief te beschouwen, en is niet noodzakelijk in elk individueel geval van toepassing. De beoordeling ontslaat een exploitant dus geenszins van de verantwoordelijkheid om bv. te onderzoeken of de techniek in zijn/haar specifieke situatie technisch haalbaar is, de veiligheid niet in gevaar brengt, geen onacceptabele milieuhinder veroorzaakt of overmatig hoge kosten met zich meebrengt. Tevens is bij de beoordeling van een techniek aangenomen dat steeds de gepaste veiligheids/milieubeschermende maatregelen getroffen worden.*

*De tabel mag niet als een losstaand gegeven gebruikt worden, maar moet in het globale kader van de studie gezien worden. Dit betekent dat men zowel rekening dient te houden met de beschrijving van de milieuvriendelijke technieken in hoofdstuk 4 als met de vertaling van de tabel naar aanbevelingen en concretisering van de milieuregelgeving in hoofdstuk 6.*

*De tabel geeft een algemeen oordeel of de aangehaalde milieuvriendelijke technieken al of niet als BBT aanzien kunnen worden voor het verbranden van hernieuwbare brandstoffen. Dit wil niet zeggen dat elk bedrijf uit deze sector ook zonder meer elke techniek die als BBT aangegeven wordt, kan toepassen. De bedrijfsspecifieke omstandigheden moeten steeds in acht genomen worden.*

Tabel 95: Evaluatie van de beschikbare milieuvriendelijke technieken en selectie van de BBT

Techniek	Technisch				Milieu						Kostenrefectiviteit <sup>0</sup> volgens 2 scenario's	BBT	
	Bevezen	Veiligheid	Kwaliteit	Globaal	Afvalwater	Lucht	Bodem	Afval	Energie	Geluid			Globaal
Vaste hernieuwbare brandstoffen: stofreducerende maatregelen													
1. zorgen voor optimale verbranding en ketelontwerp	+	0	+	+	0	+	0	0	+	0	+	0	ja
2. brandstof met een laag asgehalte gebruiken	+	0	0	+	0	+	0	0	0	0	+	0	vgtg <sup>1</sup>
3. multi-cycloon	+	0	0	+	0	+	0	-	0	0	+/-	+	ja <sup>2</sup>
4. elektrofilter	+	0	0	+	0	+	0	-	0	0	+/-	+/- <sup>3</sup>	vgtg
5. doekfilter	+	0	0	+	0	+	0	-	0	0	+/-	+/- <sup>3</sup>	vgtg
6. natte elektrofilter	+	0	0	+	-	+	0	-	0	0	+/-	+/- <sup>3</sup>	vgtg
Vaste hernieuwbare brandstoffen: NO <sub>x</sub> -reducerende maatregelen													
7. zorgen voor optimale verbranding en ketelontwerp	+	0	+	+	0	+	0	0	+	0	+	0	ja
8. getrapte brandstofvoeder	+ <sup>4</sup>	0	0	+	0	+	0	0	0	0	+	+/-	nee <sup>5</sup>
9. getrapte luchtvoeder	+	0	0	+	0	+	0	0	0	0	+	+/-	ja
10. rookgasrecirculatie	+ <sup>6</sup>	0	0	+	0	+	0	0	0	0	+	+/-	vgtg <sup>7</sup>
11. SNCR	+	0	0	+	0	+	0	-	0	0	+	+/-	vgtg <sup>8</sup>
12. SCR	+ <sup>9</sup>	0	0	+	0	+	0	-	0	0	+	+/-	vgtg <sup>6</sup>
Vaste hernieuwbare brandstoffen: SO <sub>2</sub> -reducerende maatregelen													
13. in-situ ontzwaveling in wervelbed	+	0	0	+	0	+	0	0	0	0	+	0	vgtg <sup>10</sup>
14. laag S-brandstof gebruiken	+	0	0	+	0	+	0	0	0	0	+	0	vgtg <sup>11</sup>
15. co-verbranden met een laag S-brandstof	+	0	0	+	0	+	0	0	0	0	+	0	vgtg <sup>12</sup>
16. droog sorbent injectie	+	0	0	+	0	+	0	-	0	0	+/-	+/-	vgtg <sup>13</sup>
17. half natte wassing	+	0	0	+	-	+	0	-	0	0	+/-	+/-	vgtg <sup>13</sup>
18. natte kalksteenwassing	+	0	0	+	-	+	0	-	0	0	+/-	+/-	vgtg <sup>13</sup>

Techniek	Technisch				Milieu						Kosten-effectiviteit volgens 2 scenario's	BBT	
	Bevallen	Veiligheid	Kwaliteit	Global	Afwater	Lucht	Bodem	Arval	Energie	Geluid			Global
Vloeiende hernieuwbare brandstoffen: stofreducerende maatregelen voor stookinstallaties													
19. zorgen voor optimale verbranding (verstuiving vd brandstof) en ketelontwerp	+	0	+	+	0	0	0	0	+	0	+	0	ja
20. elektrofilter / doekfilter	+	0	0	+	0	0	-	-	-	0	+/-	-	nee <sup>14</sup>
Vloeiende hernieuwbare brandstoffen: NOx-reducerende maatregelen voor stookinstallaties													
21. lage NOx brander (+getrapte luchttoevoer)	+ <sup>15</sup>	0	+	+	0	0	0	0	+	0	+	+	ja
22. getrapte brandstofvoeder	+ <sup>16</sup>	0	0	+	0	0	0	0	0	0	+	-	nee
23. rookgasrecirculatie	+ <sup>17</sup>	0	0	+	0	0	0	0	0	0	+	+/-	vgtg <sup>18</sup>
24. SNCR	+	0	0	+	0	0	-	-	0	0	+	+/-	vgtg <sup>16</sup>
25. SCR	+ <sup>37</sup>	0	0	+	0	0	-	-	0	0	+	+/-	vgtg <sup>16</sup>
Vloeiende hernieuwbare brandstoffen: stofreducerende maatregelen voor dieselmotoren													
26. roefilter	+	0	0	+	0	0	-	-	0	0	+	-	vgtg
27. elektrofilter / doekfilter	-	0	0	-									nee
Vloeiende hernieuwbare brandstoffen: NOx-reducerende maatregelen voor dieselmotoren													
28. lage NOx verbranding d.m.v. motoraanpassingen	+ <sup>19</sup>	0	+	+	0	0	0	0	+	0	+	+	ja
29. injectie van stoom/water	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	+	+/-	vgtg
30. injectie van water/brandstofemulsie	+ <sup>20</sup>	0	0	-									nee
31. SCR	+	0	0	+	0	0	-	-	0	0	+	+/ <sup>21</sup>	ja
Gasvormige hernieuwbare brandstoffen: NOx-reducerende maatregelen voor stookinstallaties													
32. lage NOx branders met getrapte luchttoevoer	+ <sup>22</sup>	0	+	+	0	0	0	0	+	0	+	+	ja

Techniek	Technisch				Milieu						Kosten-effectiviteit volgens 2 scenario's	BBT	
	Bevzen	Veiligheid	Kwaliteit	Global	Afvalwater	Lucht	Bodem	Afval	Energie	Geluid			Global
33. SCR	23	0	0	-									nee
Gasvormige hernieuwbare brandstoffen: NOx-reducerende maatregelen voor gasmotoren													
34. lage luchtvermaat (lean burn)	+	0	+	+	0	+	0	0	+	0	+	+	ja
35. SCR	23	0	0	-									nee
Gasvormige hernieuwbare brandstoffen: NOx-reducerende maatregelen voor gasturbines													
36. dry low NOx	+	0	+	+	0	+	0	0	+	0	+	+	ja <sup>24</sup>
37. injectie van stoom/water	+	0	0	+	0	+	0	0	0	0	+	+	ja
38. SCR/SNCR	23	0	0	-									nee
Secundaire emissiereducerende maatregelen voor zware metalen en dioxines													
39. zie <i>stofreducerende maatregelen</i>													
Maatregelen voor het verhogen van de energie-efficiëntie													
40. verlagen vochtgehalte in de brandstof	+	0	+	+	0	+	0	0	+/-	0	+	0	vgtg <sup>25</sup>
41. optimalisatie van de verbranding en controle luchtvermaat	+	+	+	+	0	+	0	0	+	0	+	0	ja
42. rookgascondensatie	+	0	+	+	-	0	0	0	+	0	+	0	vgtg <sup>26</sup>
Emissieperkende maatregelen naar water													
43. opslagplaatsen: waterdichte ondergrond en afgedekt	+			+	+	0	0	0	0	0	+	0	ja
44. gebruik biologisch afbreekbare smeer en hydraulische oliën	+			+	+	0	0	0	0	0	+	0	ja
45. gepaste behandeling condensaatstromen en afvalwater stromen eventuele luchtbehandeling	+			+	+	0	0	0	0	0	+	0	ja
Maatregelen naar geluid													
46. geluidsdichte containers/gebouwen	+	0	0	+	0	0	0	0	0	+	+	0	ja

Techniek	Technisch				Milieu						Kosten-effectiviteit volgens 2 scenario's	BBT	
	Bevzen	Veiligheid	Kwaliteit	Global	Afvalwater	Lucht	Bodem	Afval	Energie	Geluid			Global
Maatregelen naar warmte													
47. herbenutten restwarmte	+	0	0	+	0	0	0	0	0	+	0	0	vgfg <sup>27</sup>
Maatregelen naar afval													
48. maximaliseren hergebruik assen	+	0	0	+	0	0	0	0	0	+	0	0	ja

- Afhankelijk van de kostenhaalbaarheid van de maatregel, geval per geval te evalueren
- BBT voor kleine installaties op brandstoffen met 0,5-1% asgehalte, en als voorafscheiding voor andere installaties
- Zie § 5.4.1. a)
- Er moet voldoende ruimte, een geschikte brandstofvoevoer en controlesysteem aanwezig zijn, vandaar beperkt de technische haalbaarheid zich tot installaties vanaf 20MWth
- Andere secundaire NOx-reducerende maatregelen hebben een lagere kosteneffectiviteit in vergelijking met getrapte brandstofvoevoer
- Nieuwe installaties, meest efficiënt in continue processen
- Zie § 5.4.1 c)
- SCR stelt hoge eisen aan de rookgasinpuut, Cl, Na, K en P kunnen de deactivatie van de katalysator versnellen. De toepasbaarheid (en haalbaar rendement) van SCR is afhankelijk van de karakteristieken van de brandstof
- Indien de installatie is voorzien van een wervelbed
- Afhankelijk van de beschikbaarheid en het S-gehalte van de brandstof
- Afhankelijk van de beschikbaarheid en de technische haalbaarheid van het bijstoken van laag S-brandstof
- Zie § 5.4.1 b)
- Omwille van de lage ingangconcentraties zijn nageschakelde maatregelen niet kosteneffectief voor kleine en middelgrote installaties
- Reeds lange tijd stand der techniek
- Er moet voldoende ruimte, een geschikte brandstofvoevoer en controlesysteem aanwezig zijn, vandaar beperkt de technische haalbaarheid zich tot installaties vanaf 20MWth
- Nieuwe installaties, meest efficiënt in continue processen
- Zie § 5.4.2 b)
- Reeds lange tijd stand der techniek
- Slechts beperkte ervaring met deze techniek, niet gevonden voor hernieuwbare brandstoftoepassingen
- Duurder dan waterinjectie, maar hoger reductierendement
- Reeds lange tijd stand der techniek
- Het gebruik van SCR na biogastoeepassingen staat nog niet op punt
- Behalve voor oudere generatie gasturbines die niet kunnen omgebouwd worden met dry low NOx technologie
- Voor vaste brandstoffen
- BBT voor stookinstallaties
- Voor verwarmen van gebouwen of drogen van biomassa

## 5.4. BBT-conclusies

In onderstaande paragrafen worden de BBT-conclusies samengevat per brandstoftype: vast, vloeibaar en gasvormig.

Bij het selecteren van BBT zijn volgende *uitgangspunten* gehanteerd:

- Het belangrijkste criterium bij deze BBT-selectie is de economische evaluatie. Hierbij is enkel de kosteneffectiviteit bekeken. De kostenhaalbaarheid van de BBT voor een specifieke installatie in een bepaald bedrijf (draagkracht/winstmarge) is in deze studie niet meegenomen omwille van de grote spreiding van deze installaties over verschillende sectoren heen. Deze kostenhaalbaarheid moet geval per geval bekeken worden.
- Progressief scenario m.b.t. de kosteneffectiviteit: er wordt geopteerd om het progressief scenario te volgen om tot BBT gerelateerde emissieniveaus te komen, die toekomstgericht zijn en passen binnen een vooruitziend emissiebeleid. Bovendien blijkt uit de kosteneffectiviteitsanalyse dat er weinig verschil is tussen beide scenario's. (zie § 5.1.1).
- Voor nieuwe installaties wordt uitgegaan van de kosteneffectiviteit bij basisinvesteringskost, omdat er weinig variatie op de investeringskost wordt verwacht. Voor bestaande installaties daarentegen zal de investeringskost sterker variëren (zie bijlage 3 en § 5.1.2). De milieumaatregel moet dan ook bij een meerkost van 200% kosteneffectief zijn.
- Voor sommige brandstof-techniek combinaties leidt afbakening van BBT op basis van kosteneffectiviteit tot zeer hoge emissieniveaus, die in de praktijk tot een hoge milieu- of gezondheidsimpact zouden leiden. Vanuit de algemene betrachting van BBT om de impact op het milieu in zijn geheel maximaal te beperken, stellen we zelf een bovengrens aan deze emissies. De emissies worden daarom gelimiteerd tot een maximaal aanvaardbaar niveau. Afbakening van dit aanvaardbaar niveau (en dus de maximale bovengrens van het BBT-gerelateerd emissieniveau) gebeurt op basis van bestaande wetgeving, vergelijking met andere sectoren en overleg met het begeleidingscomité.
- BBT is het gebruik van de gegeven technieken OF een techniek met een gelijkwaardige preformatie.

De aangegeven kantelpunten m.b.t. het aantal draaiuren, het vermogen en/of as-, N- en S-gehalte van de brandstof in de BBT conclusies, volgen uit de resultaten van de kosteneffectiviteitsberekening en de gevoeligheidsanalyse zoals aangegeven in § 5.3.

Het BBT-gerelateerd emissieniveau geeft een indicatie van wat mogelijk haalbaar is door toepassing van de BBT. *Let op:* dit zijn berekende emissieniveaus, op basis van beperkte emissiegegevens en/of berekende emissieniveaus (zie § 3.7.2) en vastgelegde reductieredementen (zie hoofdstuk 4).

### 5.4.1. Vaste hernieuwbare brandstoffen

Om de emissies bij verbranding te verlagen is het van belang de verbranding te optimaliseren d.m.v. goede procescontrole en afgestemd procesontwerp. Dit reduceert de vorming van stof, NOx en onverbranden.

#### *a. stof*

Bij het verbranden van vaste biomassa is het gebruik van een multicycloon BBT. Indien het asgehalte van de brandstoffen > 1% bedraagt moet mogelijk overgestapt worden naar meer verregaande reducerende maatregelen.

Het maximaal aanvaardbaar BBT gerelateerd emissieniveau is 225 mg/Nm<sup>3</sup> bij 6% O<sub>2</sub>. Dit emissieniveau is de hoogste emissienorm die voor verbrandingsinstallaties wordt opgelegd in Vlarem. Installaties op fossiele brandstoffen krijgen in Vlarem een emissienorm van 15 tot 200 bij 6% O<sub>2</sub>, afhankelijk van de vergunningsdatum en het vermogen van de installatie. In het buitenland worden voor verbrandingsinstallaties lagere emissienormen opgelegd (zie § 2.3.9). Voor bepaalde brandstoffen (>1 gew.%) zal dit emissieniveau niet haalbaar zijn in bepaalde installaties (kleine installaties en/of weinig draaiuren) door toepassing van BBT. Maar vanuit milieuhygiënisch oogpunt zijn hogere emissies niet aanvaardbaar.

In onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van de BBT-conclusies. Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat naast het as-gehalte ook het aantal draaiuren een bepalende factor is voor de BBT-conclusies. Vandaar dat in onderstaande tabellen onderscheid wordt gemaakt tussen brandstoffen met een verschillend asgehalte. Voor het aantal draaiuren van de installatie wordt onderscheid gemaakt tussen < 4000 en > 4000.

#### Bestaande installaties

**Tabel 96:** Overzicht BBT technieken voor stofreductie bij biomassa voor bestaande installaties<sup>15</sup>

	< 4000u	> 4000u
< 1% as	Multicycloon	Multicycloon
> 1% as	Multicycloon	< 5 MW Multicycloon > 5 MW Doekfilter of ESP

- Gebruik brandstoffen met een as-gehalte < 1 gew%

  - Een multicycloon is BBT voor alle installaties. Het BBT-gerelateerd emissieniveau is <225 mg/Nm<sup>3</sup> bij 6% O<sub>2</sub>.

- Gebruik brandstoffen met as-gehalte > 1 gew. %:

  - Een multicycloon is BBT voor alle installaties. Het BBT-gerelateerd emissieniveau is <225 mg/Nm<sup>3</sup> bij 6% O<sub>2</sub>.
  - Een doekfilter of ESP is BBT voor installaties met een capaciteit > 5 MW en > 4000 draaiuren. Het BBT-gerelateerd emissieniveau is 20-50 mg/Nm<sup>3</sup> bij 6% O<sub>2</sub>.

#### Nieuwe installaties

**Tabel 97:** overzicht BBT technieken voor stofreductie bij biomassa voor nieuwe installaties<sup>15</sup>

	< 4000u	> 4000u
< 1% as	Multicycloon	< 5 MW Multicycloon > 5 MW Doekfilter of ESP
> 1% as	< 5 MW Multicycloon > 5 MW Doekfilter of ESP	Doekfilter of ESP

- Gebruik brandstoffen met een as-gehalte < 1 gew%

  - Een multicycloon is BBT voor installaties voor alle installaties. Het BBT-gerelateerd emissieniveau is <200 mg/Nm<sup>3</sup> bij 6% O<sub>2</sub>.

<sup>15</sup> BBT is het gebruik van de gegeven technieken OF een techniek met een gelijkwaardige prestatie

- Een doekfilter of ESP is BBT voor installaties > 5 MW en > 4000 draaiuren. Het BBT-gerelateerd emissieniveau is 10-20 mg/Nm<sup>3</sup>
- Gebruik brandstoffen met as-gehalte > 1 gew.%:
  - Een multicycloon is BBT voor installaties voor alle installaties. Het BBT-gerelateerd emissieniveau is <200 mg/Nm<sup>3</sup> bij 6% O<sub>2</sub>.
  - Een doekfilter of ESP is BBT voor installaties met een capaciteit > 5 MW of voor alle installaties met > 4000 draaiuren. Het BBT-gerelateerd emissieniveau is 10-20 mg/Nm<sup>3</sup> bij 6% O<sub>2</sub>.

### b. SO<sub>2</sub>

Het maximaal aanvaardbaar BBT gerelateerd emissieniveau is 450 mg/Nm<sup>3</sup> bij 6% O<sub>2</sub> (ca. 0,3 gew.%). Dit komt overeen het max. emissieniveau wat momenteel voor bestaande installaties op biomassa in Vlareem wordt opgelegd. In het buitenland is dit tevens het maximum emissieniveau, en worden eerder lagere waarden opgelegd. Voor bepaalde brandstoffen (> 0,3gew.% S) zal dit emissieniveau in bepaalde installaties niet haalbaar zijn door toepassing van BBT. Maar vanuit milieuhygiënisch oogpunt zijn hogere emissies dan ook niet aanvaardbaar. In die gevallen kan gekozen worden voor het gebruik van een brandstof met < 0,3 gew.% S of kan de exploitant toch opteren om verder te gaan dan BBT (d.w.z. inzet van niet-kosteneffectieve maatregelen).

De combinatie van primaire maatregelen met nageschakelde maatregelen of de combinatie van meerdere nageschakelde deSOx-technieken is in deze studie niet doorgerekend omwille van een tekort aan concrete gegevens aangaande haalbaar reductierendement en kostprijzen. Bij wervelbedinstallaties kan 'in-situ'-ontzweveling worden toegepast door toevoeging van kalksteen of dolomiet in het bed. Bij inzet van zwavelrijke brandstoffen kan in een circulerend wervelbed hiermee 80% reductie bekomen worden (zie § 4.1.2). Hierdoor zal dan ook een lager emissieniveau behaald kunnen worden.

In onderstaande tabellen wordt een overzicht gegeven van de BBT-conclusies opgedeeld voor bestaande en nieuwe installaties. Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat naast het S-gehalte ook het aantal draaiuren een bepalende factor is voor de BBT-conclusies. Vandaar dat in onderstaande tabellen onderscheid wordt gemaakt tussen brandstoffen met een S-gehalte < 1% en > 1%. Voor het aantal draaiuren van de installatie wordt onderscheid gemaakt tussen < 4000u en > 4000u.

#### Bestaande installaties

**Tabel 98:** Overzicht BBT technieken voor SOx reductie bij vaste biomassa, voor bestaande installaties<sup>15</sup>

	< 4000 u	> 4000 u
< 1% S	< 5 MW gebruik brandstof < 0,3% S > 5 MW droog sorbent injectie	droog sorbent injectie of gebruik brandstof < 0,3% S
> 1% S	droog sorbent injectie	droog sorbent injectie

- Gebruik brandstoffen met S-gehalte < 1 gew.%:
  - Droog sorbentinjectie of het gebruik van laag S-brandstof is BBT voor installaties:
    - > 5 MWth met < 4000 draaiuren
    - of indien > 4000u.



Het BBT gerelateerd emissieniveau is afhankelijk van het S-gehalte van de brandstof.  
Het BBT gerelateerd emissieniveau is 100-450 mg/Nm<sup>3</sup> bij 6% O<sub>2</sub>.

- Gebruik brandstoffen met S-gehalte > 1 gew%:
  - Droog sorbentinjectie is BBT. Het BBT gerelateerd emissieniveau is 450 mg/Nm<sup>3</sup> bij 6% O<sub>2</sub>.

#### Nieuwe installaties

**Table 99:** Overzicht BBT technieken voor SO<sub>x</sub> reductie bij vaste biomassa, voor nieuwe installaties<sup>15</sup>

	< 4000 u	> 4000 u
< 1% S	droog sorbent injectie of gebruik brandstof < 0,1% S	droog sorbent injectie of gebruik brandstof < 0,1% S > 20 MW natte wassing
> 1% S	droog sorbent injectie > 20 MW natte wassing	droog sorbent injectie > 20 MW natte wassing

- Gebruik brandstoffen met S-gehalte < 1 gew%:
  - Droog sorbentinjectie of het gebruik van laag S-brandstof is BBT. Het BBT gerelateerd emissieniveau is afhankelijk van het S-gehalte. Het BBT gerelateerd emissieniveau is 50-200 mg/Nm<sup>3</sup> bij 6% O<sub>2</sub>.
  - Natte wassing is BBT bij installaties > 20 MW en > 4000 u. Het BBT gerelateerd emissieniveau is 20-50 mg/Nm<sup>3</sup> bij 6% O<sub>2</sub>
- Gebruik brandstoffen met S-gehalte > 1 gew%:
  - Droog sorbentinjectie is BBT voor installaties met een capaciteit < 20 MW. Het BBT gerelateerd emissieniveau is < 450 mg/Nm<sup>3</sup>, afhankelijk van het S-gehalte:
    - < 5 MWth: 300-450 mg/Nm<sup>3</sup> bij 6% O<sub>2</sub>
    - > 5-20 MWth: 200-450 mg/Nm<sup>3</sup> bij 6% O<sub>2</sub>
  - Natte wassing is BBT voor installaties met een capaciteit > 20 MW. Het BBT gerelateerd emissieniveau is afhankelijk van het S-gehalte. Het BBT gerelateerd emissieniveau is 100-250 mg/Nm<sup>3</sup> bij 6% O<sub>2</sub>.

#### c. NO<sub>x</sub>

Bij het verbranden van vaste biomassa is het gebruik van lage NO<sub>x</sub>-branders met overfire air BBT, eventueel aangevuld met nageschakelde technieken.

Het haalbaar emissieniveau is afhankelijk van het type biomassa (N-gehalte) en het reductierendement;

- enerzijds kan het toepassen van nageschakelde maatregelen bij gebruik van hoog N-beladen brandstoffen (>3-4 gew.% N), vanuit milieuhygiënisch oogpunt tot onaantvaardbaar hoge emissieniveaus leiden.
- anderzijds kan het reductierendement bij installaties met beperkt aantal draaiuren moeilijk geoptimaliseerd worden.

Op basis van bovenstaande overwegingen wordt de maximale bovengrens van het BBT gerelateerd emissieniveau op 600 mg/Nm<sup>3</sup> bij 6% O<sub>2</sub> gelegd. Dit komt overeen het max. emissieniveau wat momenteel voor bestaande installaties op biomassa in Vlareem wordt opgelegd. In het

buitenland is dit tevens het maximum emissieniveau, en worden eerder lagere waarden opgelegd voor stookinstallaties op biomassa.

In onderstaande tabellen wordt een overzicht gegeven van de BBT-conclusies, opgesplitst voor bestaande en nieuwe installaties. Bij de evaluatie van de milieumaatregelen blijken de conclusies afhankelijk te zijn van het N-gehalte en het aantal draaiuren. Vandaar dat in onderstaande tabellen onderscheid wordt gemaakt tussen brandstoffen met een N-gehalte  $< 1\%$  en  $> 1\%$ . Voor het aantal draaiuren van de installatie wordt onderscheid gemaakt tussen  $< 4000$  en  $> 4000$ .

#### Bestaande installaties

**Tabel 100:** Overzicht BBT-conclusies vaste biomassa bestaande installaties<sup>15</sup>

	< 4000	> 4000
< 1% N	Geen nageschakelde techniek	SNCR of gebruik brandstof < 0,4% N
> 1% N	SNCR	SCR

- Gebruik brandstoffen met N-gehalte  $> 1$  gew.-%:
  - SNCR is BBT voor installaties met  $< 4000$  draaiuren. Het BBT gerelateerd emissieniveau is 400-600 mg/Nm<sup>3</sup> bij 6%O<sub>2</sub> afhankelijk van het N-gehalte.
  - SCR is BBT voor installaties met  $> 4000$  draaiuren. Het BBT gerelateerd emissieniveau is 100-350 mg/Nm<sup>3</sup> bij 6%O<sub>2</sub> afhankelijk van het N-gehalte.
- Gebruik brandstoffen met een laag N-gehalte,  $< 1$  gew.-%:
  - voor installaties  $< 4000$  draaiuren, het gebruik van primaire maatregelen zonder bijkomende nageschakelde technieken. Het BBT gerelateerd emissieniveau is  $< 600$  mg/Nm<sup>3</sup> bij 6%O<sub>2</sub>;
  - SNCR of het gebruik van een brandstof met  $< 0,4$  gew.-% N als  $> 4000$  draaiuren. Het BBT gerelateerd emissieniveau is 100-350 mg/Nm<sup>3</sup> bij 6%O<sub>2</sub> afhankelijk van het N-gehalte.

#### Nieuwe installaties

**Tabel 101:** Overzicht BBT-conclusies vaste biomassa voor nieuwe installaties<sup>15</sup>

	< 4000 u	> 4000 u
< 1% N	SNCR of gebruik brandstof < 0,4% N	SCR
> 1% N	SCR	SCR

- Gebruik brandstoffen met N-gehalte  $> 1$  gew.-%:
  - SCR is BBT (KE  $< 5-7$  €/kg). Het BBT gerelateerd emissieniveau is 50-200 mg/Nm<sup>3</sup> bij 6%O<sub>2</sub> afhankelijk van het N-gehalte.
- Gebruik brandstoffen met een laag N-gehalte,  $< 1$  gew.-%:
  - SNCR of het gebruik van een brandstof met  $< 0,4$  gew.-% N is BBT voor installaties met  $< 4000$  draaiuren. Het BBT gerelateerd emissieniveau is 100-350 mg/Nm<sup>3</sup> bij 6%O<sub>2</sub> afhankelijk van het N-gehalte.
  - SCR is BBT voor installaties met  $> 4000$  draaiuren. Het BBT gerelateerd emissieniveau is 50-100 mg/Nm<sup>3</sup> bij 6%O<sub>2</sub>, afhankelijk van het N-gehalte.

#### 5.4.2. Vloeibare hernieuwbare brandstoffen

Om de emissies bij verbranding te verlagen is het van belang de verbranding te optimaliseren d.m.v. goede procescontrole en afgestemd procesontwerp. Dit reduceert de vorming van stof, NOx en onverbranden.

##### a. stof

Stofemissies bij het verbranden van vloeibare brandstoffen zijn laag. Nageschakelde technieken zijn hierdoor niet kosteneffectief. Het haalbaar stofemissieniveau, zonder nageschakelde technieken, ligt voor stookinstallaties op hernieuwbare vloeibare brandstoffen  $< 50 \text{ mg/Nm}^3$  bij 3%O<sub>2</sub> (Ecolas 2006 en gegeven BC).

Voor motoren ligt het haalbaar emissieniveau zonder nageschakelde technieken  $< 30 \text{ mg/Nm}^3$ .

Indien nodig kan het stofemissieniveau bij deze installaties gereduceerd worden tot  $< 15 \text{ mg/Nm}^3$  bij 15%O<sub>2</sub> door gebruik van een doekfilter bij branders of een roetfilter bij motoren (gegevens constructeurs).

##### b. NOx-emissies

- Stookinstallaties

Bij het verbranden van vloeibare hernieuwbare brandstoffen in stookinstallaties is het gebruik van SNCR BBT. Voor nieuwe installaties is het BBT om lage NOx branders met OFA of RGR, in combinatie met secundaire maatregelen toe te passen. Voor bepaalde installaties met veel draaiuren is SCR, in combinatie met primaire maatregelen, BBT.

Het haalbaar emissieniveau is afhankelijk van het type brandstof en het reductierendement.

In onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van de BBT-conclusies opgedeeld volgens onderzochte brandstoffractie. Bij de evaluatie van de milieumaatregelen blijken de conclusies afhankelijk te zijn van het type brandstof, het aantal draaiuren en de leeftijd van de installatie.

**Tabel 102:** Overzicht BBT-conclusies vloeibare hernieuwbare brandstoffen<sup>15</sup>

	< 4000	> 4000
Dierlijke vetten	SNCR + primaire maatregelen*	Primaire maatregelen + SNCR of SCR*
	< 6000	> 6000
PPO en gerecycleerde frituurvetten	Primaire maatregelen + SNCR*	Primaire maatregelen + SNCR of SCR*

\* Combinatie met SNCR (< 4000-6000 draaiuren) of SCR (> 4000-6000 draaiuren) voor nieuwe installaties

Bij bestaande installaties:

- Dierlijke vetten:
  - SNCR is BBT voor installaties op dierlijke vetten met  $< 4000$  draaiuren. Het gebruik van SNCR reduceert de emissies tot een niveau van  $400 \text{ mg/Nm}^3$  bij 3% O<sub>2</sub>
  - Primaire maatregelen in combinatie met SNCR zijn BBT voor installaties op dierlijke vetten met  $> 4000$  draaiuren. Door het implementeren van BBT op deze installaties zijn volgende emissieniveaus haalbaar:
    - $< 5 \text{ MWth}$ :  $200 \text{ mg/Nm}^3$  bij 3%O<sub>2</sub>
    - $> 5 \text{ MWth}$ :  $150 \text{ mg/Nm}^3$  bij 3%O<sub>2</sub>

- PPO: voor deze installaties is het gebruik van primaire maatregelen BBT, waarmee een emissieniveau van 200-225 mg/Nm<sup>3</sup> bij 3% O<sub>2</sub> haalbaar is. Voor installaties met > 6000 draaiuren is ook het gebruik van SNCR BBT en kan het emissieniveau teruggebracht worden tot:
  - < 5 MWth: 150 mg/Nm<sup>3</sup> bij 3%O<sub>2</sub>
  - > 5 MWth: 125 mg/Nm<sup>3</sup> bij 3%O<sub>2</sub>

Bij nieuwe installaties:

- met < 4000 draaiuren is de combinatie van primaire maatregelen met SNCR BBT. Hiermee is een emissieniveau van 150 mg/Nm<sup>3</sup> bij 3% O<sub>2</sub> haalbaar.
- met > 4000 draaiuren is de combinatie van primaire maatregelen met SCR BBT. Hiermee is een emissieniveau van 50-100 mg/Nm<sup>3</sup> bij 3% O<sub>2</sub> haalbaar.

- Dieselmotoren

Bij het verbranden van vloeibare hernieuwbare brandstoffen in dieselmotoren is het gebruik van SCR BBT.

Het haalbaar emissieniveau is vnl. afhankelijk van de leeftijd van de motor en het reductierendement.

- Voor bestaande motoren is SCR met een reductierendement van minstens 85% BBT, waarmee een emissieniveau haalbaar is van:
  - < 5 MWth: 300 mg/Nm<sup>3</sup> bij 15% O<sub>2</sub>
  - > 5 MWth: 250 mg/Nm<sup>3</sup>
- Voor nieuwe motoren is SCR met een reductierendement van > 90-95% BBT, waarmee een emissieniveau haalbaar is van:
  - < 5 MWth: 150-250 mg/Nm<sup>3</sup>
  - > 5 MWth: 100-150 mg/Nm<sup>3</sup>

### c. SO<sub>2</sub>

Over het algemeen ligt het S-gehalte van vloeibare hernieuwbare brandstoffen laag, < 0,05%. De haalbare emissies bedragen < 40 mg/Nm<sup>3</sup> bij 3%O<sub>2</sub> (op basis van gerapporteerde emissiewaarden).

## 5.4.3. Gasvormige hernieuwbare brandstoffen

Om de emissies bij verbranding te verlagen is het van belang de verbranding te optimaliseren d.m.v. goede procescontrole en afgestemd procesontwerp. Dit reduceert de vorming van stof, NOx en onverbranden.

### a. Stof

Stofemissies bij het verbranden van gasvormige brandstoffen zijn laag. Nageschakelde technieken zijn hierdoor niet kosteneffectief. Het haalbaar stofemissieniveau, zonder nageschakelde technieken, ligt op < 5 mg/Nm<sup>3</sup> bij 3%O<sub>2</sub> en < 10 mg/Nm<sup>3</sup> bij 15%O<sub>2</sub> (ANN., juni 2006).

**b. NO<sub>x</sub>**

- Stookinstallaties

Bij bestaande installaties is het plaatsen van een lage NO<sub>x</sub> brander BBT. Het minimum haalbaar emissieniveau is <150 mg/Nm<sup>3</sup> bij 3%O<sub>2</sub>.

Bij nieuwe installaties is het gebruik van een lage NO<sub>x</sub> brander BBT. Met de nieuwe generatie lage NO<sub>x</sub> branders zijn emissieniveaus < 70 mg/Nm<sup>3</sup> bij 3%O<sub>2</sub> haalbaar.

*Let op:* De niet-homogene samenstelling van biogassen kan een negatieve impact hebben op de verbranding. Door constructeurs en leden van het BC wordt aangegeven dat verhoogde NO<sub>x</sub> emissies t.o.v. aardgas daarom mogelijk zijn (tot 10% hoger).

Het gebruik van SCR na biogasinstallaties staat nog niet volledig op punt. Verder onderzoek is nodig. Met SCR kunnen de emissies verder verlaagd worden tot < 30 mg/Nm<sup>3</sup> bij 3% O<sub>2</sub>.

- Gasmotoren en turbines

Voor bestaande installaties is het BBT om primaire maatregelen toe te passen. Het gebruik van primaire maatregelen, lean burn bij gasmotoren of dry low NO<sub>x</sub> voor gasturbines, leidt tot emissieniveaus van respectievelijk 90-190 mg/Nm<sup>3</sup> en 55-80 mg/Nm<sup>3</sup> bij 15%O<sub>2</sub>.

Bij nieuwe installaties kan het gebruik van primaire maatregelen verder geoptimaliseerd worden en kunnen emissieniveaus van 90 mg/Nm<sup>3</sup> voor gasmotoren en 55 mg/Nm<sup>3</sup> voor gasturbines (beide bij 15%O<sub>2</sub>) behaald worden. Het behalen van deze lage emissieniveaus wordt momenteel voor biogassen nog verder onderzocht. Hierbij dient nagegaan te worden hoe deze lage NO<sub>x</sub>-emissies kunnen behaald worden zonder hoge THC-emissies te genereren.

*Let op:* De niet-homogene samenstelling van biogassen kan een negatieve impact hebben op de verbranding. Door constructeurs en leden van het BC wordt aangegeven dat verhoogde NO<sub>x</sub> emissies t.o.v. aardgas daarom mogelijk zijn (tot 10% hoger).

Het toepassen van SCR na biogasinstallaties heeft zich momenteel nog niet volledig bewezen in de praktijk. Verdere ontwikkeling is nodig. Fabrikanten geven hierbij aan dat nog een 3-tal jaar nodig zal zijn om deze techniek te optimaliseren op deze brandstof. Hierdoor kan het gebruik van SCR nog niet als BBT worden beschouwd. Indien SCR technisch kan toegepast worden is hiermee een emissieniveau < 30 mg/Nm<sup>3</sup> bij 15%O<sub>2</sub> haalbaar.

**c. SO<sub>2</sub>**

Over het algemeen ligt het S-gehalte van gereinigde gasvormige hernieuwbare brandstoffen laag, < 50 mg/Nm<sup>3</sup> bij 15%O<sub>2</sub> (afgeleid uit samenstellingen gereinigd biogas).



**Hoofdstuk 6****AANBEVELINGEN OP BASIS VAN DE BESTE  
BESCHIKBARE TECHNIEKEN**

*In dit hoofdstuk formuleren we op basis van de BBT-analyse een aantal concrete aanbevelingen en suggesties. Hierbij volgen we 3 sporen:*

- *aanbevelingen voor milieuvergunningsvoorwaarden: we gaan na hoe de BBT kunnen vertaald worden naar vergunningsvoorwaarden, en formuleren suggesties om de bestaande milieuregelgeving voor het verbranden van hernieuwbare brandstoffen te concretiseren en/of aan te vullen;*
- *aanbevelingen voor de milieusubsidieregeling: we gaan na welke milieuvriendelijke technieken voor het verbranden van hernieuwbare brandstoffen in aanmerking kunnen genomen worden voor Ecologiepremie;*
- *aanbevelingen voor verder onderzoek en technologische ontwikkeling: we identificeren een aantal voor het verbranden van hernieuwbare brandstoffen relevante thema's waarvoor verder onderzoek en technologische ontwikkeling wenselijk is, en we beschrijven een aantal innovatieve technologieën die in de toekomst mogelijk tot BBT kunnen evolueren.*

**6.1. Aanbevelingen voor de milieuregelgeving**

De beste beschikbare technieken vormen een belangrijke basis voor het opstellen en concretiseren van de milieuregelgeving. Vlarec stelt immers, in overeenstemming met de IPPC-richtlijn, dat de emissiegrenswaarden voor vergunningsplichtige installaties gebaseerd moeten zijn op het toepassen van – ten minste – de BBT.

Bij het opstellen van emissiegrenswaarden spelen echter ook andere beleidsaspecten mee:

- Op lange termijn (gemikt wordt op 2030 of 2040), wil de Europese Commissie de luchtkwaliteit verbeteren tot een niveau waarbij 'geen significante negatieve effecten' meer optreden voor de menselijke gezondheid en het milieu. Hiervoor zijn er door de Commissie tussendoelstellingen opgesteld. Voor Vlaanderen betekent dit dat er grote inspanningen zullen moeten gedaan worden om de Europees vastgestelde luchtkwaliteitsdoelstellingen, m.n. NOx en fijn stof, te behalen.
- Daarnaast moet Vlaanderen tegen 2010 voldoen aan de NEC-richtlijn. NEC staat voor 'national emission ceilings' (nationale emissieplafonds). De NEC-plafonds zijn een tussenstap op weg naar duurzame niveaus op langere termijn. Het gaat om: zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>), stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>), niet methaan vluchtige stoffen (NMVOS) en ammoniak (NH<sub>3</sub>). De Europese Commissie zal in 2009 met een voorstel voor nieuwe emissieplafonds komen, die vanaf 2020 niet meer mogen worden overschreden. Deze zullen zo goed als zeker strenger zijn dan de huidige plafonds. Voor fijn stof geldt nog geen emissieplafond. De Europese Commissie heeft wel aangekondigd bij de komende herziening van de NEC-richtlijn een plafond voor fijn stof op te nemen.
- Het gebruik van hernieuwbare brandstoffen wordt gestimuleerd om de globale Europese doelstelling voor 2020 van een 20% aandeel van hernieuwbare energie in het energieverbruik te bereiken en een reductie van 20% in de CO<sub>2</sub> uitstoot. Hierdoor wordt de laatste jaren het gebruik van hernieuwbare brandstoffen bij kleinere installaties zoals WKK-installaties

gestimuleerd. Dit heeft tot gevolg dat er een grotere diversificatie is inzake brandstofinzet. Dit vraagt dan ook aangepaste emissie-eisen.

Daarnaast worden in deze richtlijn duurzaamheidscriteria opgelegd voor de productie van hernieuwbare brandstoffen.

- Wat het vergunningskader betreft worden momenteel voor het verbranden van bepaalde biomassafracties, die onder de Europese afvalrichtlijn vallen, strenge emissiegrenswaarden opgelegd. Deze zijn specifiek voor afvalstoffen opgesteld. Deze emissiegrenswaarden kunnen niet zondermeer doorgetrokken worden voor alle hernieuwbare brandstoffen. Hernieuwbare brandstoffen worden immers niet alle op een gelijkaardige manier verbrand (andere installaties, vermogens, draaiuren). Dit resulteert enerzijds in een andere milieu-impact en anderzijds in mogelijk andere beschikbare (technisch en economisch) emissiereductietechnieken.

Daar al deze aspecten moeten bekeken worden bij de totstandkoming van vergunningsvoorwaarden, is het niet mogelijk om binnen deze studie aanbevelingen op algemeen of sectorniveau voor te stellen.

Deze studie biedt het inzicht in de factoren die bepalend zijn voor de milieu-impact van het verbranden van hernieuwbare brandstoffen. Tevens wijst het de technieken aan die beschikbaar zijn (technisch en kosteneffectief) om deze milieu-impact optimaal te beperken.

## 6.2. Aanbevelingen voor ecologiepremie

### 6.2.1. Inleiding

Bedrijven die in Vlaanderen ecologische investeringen uitvoeren, kunnen hiervoor subsidies krijgen van de Vlaamse Overheid: de ecologiepremie. In deze paragraaf worden aanbevelingen gegeven om één of meerdere van de besproken milieuvriendelijke technologieën in aanmerking te laten komen voor deze investeringssteun.

#### *a. Juridische basis*

De ecologiepremie kadert binnen het Vlaams decreet betreffende het economisch ondersteuningsbeleid van 31 januari 2003. De bepalingen van dit decreet m.b.t. investeringssteun worden verder uitgewerkt via een Besluit van de Vlaamse regering. Op 16 mei 2007 heeft de Vlaamse regering de regelgeving voor de ecologiepremie grondig gewijzigd. De oude ecologiepremieregeling werd opgeheven en sinds 1 oktober 2007 is een nieuwe regeling volgens een zogenaamd call systeem van kracht.

#### *b. Een subsidie volgens een call-systeem*

Call is het Engelse woord voor “oproep”. Een call-systeem betekent dus dat binnen een bepaalde periode een oproep tot projecten (subsidie-aanvragen voor technologieën die in aanmerking komen) wordt gedaan aan ondernemingen. Ondernemingen die een project (investering) wensen uit te voeren en hiervoor subsidie vragen, kunnen intekenen op de call. Aan het call-systeem is een gesloten enveloppe toegekend. Dit wil zeggen dat het budget per call vastligt.

Alle ingediende projecten worden per oproep gerangschikt volgens een bepaald scoresysteem en subsidie wordt toegekend aan de best gerangschikte projecten tot het volledig budget van de call opgebruikt is.



Projecten met de beste scores (performantiefactoren) krijgen in elk geval steun. Projecten met de laagste scores krijgen enkel steun indien de totaal aangevraagde subsidie lager is dan het voorziene budget.

#### **c. Ecologiepremie en ecologie-investeringen**

- De ecologiepremie wordt toegekend aan ecologie-investeringen. Ecologie-investeringen zijn investeringen in nieuwe milieutechnologieën, energietechnologieën die leiden tot energiebesparing, evenals warmte-krachtkoppeling (WKK) en hernieuwbare energie (HE). De volledige info over de ecologiepremie is te vinden via [www.ondernemen.vlaanderen.be](http://www.ondernemen.vlaanderen.be).

#### **d. Limitatieve Technologieën Lijst (LTL) van ecologie-investeringen**

De investeringen die in aanmerking komen voor de ecologiepremie zijn opgenomen in een limitatieve technologieënlijst (LTL). Deze lijst is raadpleegbaar via bovenvermelde link.

Per technologie vermeldt de limitatieve technologieënlijst volgende gegevens:

- het nummer;
- de naam;
- de beschrijving;
- het technologietype;
- de performantiefactor;
- het meerkostpercentage;
- de essentiële componenten.

Elk van de hierboven vermelde gegevens wordt hieronder toegelicht:

- *het nummer van de technologie:*  
Dit is de code in de webapplicatie. Technologieën worden in de webapplicatie gekozen door het ingeven van het betreffende nummer van de technologie;
- *de naam van de technologie:*  
De naam is een eerste identificatie van de technologie;
- *de beschrijving van de technologie:*  
De beschrijving geeft wat meer uitleg over de technologie, toepassingsmogelijkheden, beperkingen bij het aanvragen, ...;
- *het technologietype:*  
Het technologietype geeft aan welk type technologie het is (milieutechnologie; energietechnologie met energiebesparing; warmtekrachtkoppeling of hernieuwbare energie);
- *de performantiefactor van de technologie:*  
De performantiefactor geeft de score aan van de technologie. Projecten worden gerangschikt op basis van de performantiefactor van de technologie. Projecten met een hoge performantiefactor krijgen dus een hoge score en hebben meer kans om gunstig gerangschikt te worden. De performantiefactor wordt bepaald op basis van de mate waarin de technologie bijdraagt tot de realisatie van de Kyoto-doelstellingen of de milieudoelstellingen van de Vlaamse overheid.  
Technologieën met een belangrijke bijdrage tot de milieudoelstellingen of een belangrijk milieuvoordeel krijgen een hoge score;

- *het meerkostpercentage;*  
De meerkost is een maat voor de extra kosten die een bedrijf heeft door te investeren in de milieuvriendelijke technologie. Deze meerkost is de extra investeringen, verminderd met de besparingen en bijkomende opbrengsten gedurende de eerste vijf jaar van de gebruiksduur. De meerkost wordt uitgedrukt als een percentage van de totale investeringskost (meerkostpercentage);
- *de essentiële componenten van een technologie;*  
De essentiële componenten geven aan welke onderdelen precies voor steun in aanmerking komen. De aanvraag gebeurt door het opgeven van de kostprijs van de essentiële componenten, waarop de webapplicatie de steun berekent. Alle componenten zijn essentieel. Dit wil zeggen dat voor alle componenten een investeringsbedrag dient ingevuld te worden. Indien een essentiële component ontbreekt dan kan de technologie in principe niet aangevraagd worden.

#### e. *Steunintensiteit*

De steun wordt berekend op de meerkost en bedraagt 40% voor kleine en middelgrote ondernemingen en 20% voor grote ondernemingen.

De totale subsidie bedraagt maximaal 1,75Mln euro per aanvraag.

### 6.2.2. **Toetsing van de milieuvriendelijke technieken voor het verbranden van hernieuwbare brandstoffen aan de criteria voor ecologiepremie**

Het BBT-kenniscentrum van VITO verleent ondersteuning aan het Vlaams Energieagentschap bij het opstellen van de limitatieve technologieënlijst. Conform de BBT-aanpak komt een technologie op de lijst als aan *alle* onderstaande voorwaarden is voldaan:

- de technologie is het experimenteel stadium ontgroeid (toepassing in bedrijfstak op korte termijn is mogelijk) maar is (nog) geen standaardtechnologie\* in de bedrijfstak;
- de toepassing van de technologie is nog niet verplicht in Vlaanderen bv. om te voldoen aan VLAREM II\*\*;
- de technologie heeft een duidelijk milieuvoordeel ten opzichte van de standaardtechnologie;
- er gaat een betekenisvolle investeringskost mee gepaard;
- de investeringskost is groter dan die van de standaardtechnologie;
- de meerkost ten opzichte van de standaardtechnologie betaalt zich niet op korte termijn (binnen 5 jaar) terug door de gerealiseerde netto besparingen.

\* Met ‘standaardtechnologie’ wordt deze technologie bedoeld waarin een gemiddeld bedrijf (binnen de sector) op dit moment zou investeren indien nieuwe investeringen noodzakelijk zouden zijn.

#### *Opmerking:*

Een standaardtechnologie is bijgevolg ook een technologie die op dit moment in de markt gangbaar wordt aangeboden door leveranciers. Een standaardtechnologie is echter niet noodzakelijk een techniek die op dit moment reeds gangbaar wordt toegepast binnen de sector.

#### *Relatie BBT – standaardtechnologie – ecologiepremie:*

In veel gevallen zullen het begrip BBT en het begrip standaardtechnologie samenvallen. In dit geval komt de BBT niet in aanmerking voor de ecologiepremie.

In sommige gevallen echter is BBT (nog) geen standaardtechnologie. Dit is bijvoorbeeld het geval voor BBT die relatief duur zijn t.o.v. de huidige standaardtechnologie en/of voor BBT waarin bedrijven nog niet standaard investeren indien nieuwe investeringen noodzakelijk zijn. In dit laatste geval kan de ecologiepremie zinvol zijn om marktintroductie of marktverbreiding te bespoedigen. Dergelijke BBT kunnen wel in aanmerking komen voor de ecologiepremie.

\*\* Als er Vlaamse normen van toepassing zijn dan wordt alleen subsidie toegekend indien met de technologie betere resultaten worden bereikt dan de Vlaamse norm.

Als er geen Vlaamse normen van toepassing zijn, hebben de technologieën op de lijst één van volgende doelstellingen:

- het overtreffen van de (bestaande) Europese normen;
- het bereiken van milieuvoordelen waarbij nog geen Europese normen zijn goedgekeurd.

In Tabel 103 worden de milieuvriendelijke technieken uit hoofdstuk 4 getoetst aan bovenstaande criteria. Enkel de technieken met een significante investeringskost worden geëvalueerd. Een ✓ betekent dat aan betrokken criterium is voldaan. Een ✗ betekent dat aan betrokken criterium niet is voldaan. End-of-pipe technieken werden door het Ministerieel Besluit van 3 juni 2005 van de LTL geschrapt en zijn daarom niet opgenomen in Tabel 103.

Een technologie komt enkel in aanmerking voor de ecologiepremie indien aan alle criteria is voldaan. Zodra aan één van de criteria niet wordt voldaan, is de techniek niet noodzakelijk meer getoetst aan alle overblijvende criteria.

**Tabel 103: Toetsing van milieuvriendelijke technieken aan criteria voor ecologiepremie**

Technologie	Criteria						
	... is bewezen maar is nog geen standaardtechnologie	... is niet verplicht in Vlaanderen	... heeft een duidelijk milieuvoordeel t.o.v. de standaardtechnologie	... heeft een investeringskost groter dan die van de standaardtechnologie	... heeft een terugverdiëntijd $\leq$ 5 jaar (meerkost t.o.v. standaardtechnologie)	... voldoet aan alle criteria voor de ecologiepremie	... staat reeds op de LTL
Zorgen voor een optimale verbranding	✗	✓	✗	✗	✓	nee	nee
Lage NOx branders	✗	✗	✗	✗	✗	nee	nee <sup>e</sup>
Brandstofsubstitutie	✓	✓	✓ <sup>a</sup>	✗	? <sup>b</sup>	nee	nee
Getrapte brandstoftoevoer	✓	✓	✗	✓		nee	nee
Getrapte luchttoevoer	✗	✓	✗	✗	✗	nee	nee
Rookgasrecirculatie	✓	✓	✗	✗	✗	nee	nee
SCR	✓/✗ <sup>e</sup>	✓	✓	✓	✓	ja	nee <sup>d</sup>

- a. Het haalbaar milieuvoordeel is afhankelijk van gehanteerde brandstof.
- b. De terugverdiëntijd is mede afhankelijk van de gehanteerde brandstof.
- c. Op de LTL staat enkel ultra-low NOx: met  $< 70 \text{ mg/Nm}^3$  voor aardgasbranders en  $< 120 \text{ mg/Nm}^3$  voor gasoliebranders bij 3% O<sub>2</sub>.
- d. Momenteel kunnen geen end-of-pipe maatregelen in aanmerking komen voor ecologiepremie. Mogelijk kan hiervoor een afwijking worden toegestaan voor toepassingen waarbij geen alternatieven voorhanden zijn om de emissies te verlagen, en deze noodzakelijk zijn in het kader van het milieubeleid, oa. strenge NEC NOx-beleid.
- e. SCR is bewezen technologie voor fossiele brandstoffen, maar wordt nog in vraag gesteld voor toepassing op hernieuwbare brandstoffen, m.n. biofuels en biogassen.

### **6.2.3. Aanbevelingen voor de LTL**

Momenteel kunnen geen end-of-pipe maatregelen in aanmerking komen voor ecologiepremie. Mogelijk kan hiervoor een afwijking worden toegestaan voor toepassingen waarbij geen alternatieven voorhanden zijn om de emissies te verlagen, en deze noodzakelijk zijn in het kader van het milieubeleid, oa. strenge NEC NOx-beleid.

### **6.3. Suggesties voor verder onderzoek**

Bij het opstellen van de BBT-studie werden een aantal hiaten in de beschikbare kennis/informatie opgemerkt, zowel met betrekking tot de milieu-impact van het verbranden van hernieuwbare brandstoffen als met betrekking tot de beschikbare milieuvriendelijke technieken. Verder onderzoek op deze domeinen is aanbevolen om deze hiaten weg te werken. Een overzicht van de betrokken domeinen en de hieraan gekoppelde onderzoeksaanbevelingen wordt gegeven in Tabel 104.

**Tabel 104: Aanbevelingen voor verder onderzoek ter verbetering van de beschikbare informatie en kennis**

Ontbrekende of onvolledige kennis/informatie	Onderzoeksaanbeveling	Lopende onderzoeksprojecten
<p>Beperkte emissiegegevens beschikbaar voor andere dan houtverbranding, oa. diermeel, grassen en mest in ketels en biogas in branders en turbines.</p> <p>Onvolledigheid van de meetrapporten, welke interpretatie en vergelijking van de meetwaarden bemoeilijken.</p>	<p>Meer meetcampagnes.</p> <p>Uitgebreidere en volledige meetcampagne van de installaties op hernieuwbare brandstoffen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- capaciteit;</li> <li>- eerste ingebruikstelling;</li> <li>- aantal draaituren;</li> <li>- karakterisatie van de brandstof;</li> <li>- metingen.</li> </ul>	<p>Als meer en verschillende hernieuwbare brandstoffen zullen ingezet worden bij de energieproductie in Vlaanderen zullen meer en uitgebreidere meetrapporten ter beschikking komen.</p>
<p>Onduidelijkheid over de toepasbaarheid SCR en hun effect bij inzet op stookinstallaties/motoren/turbines op hernieuwbare brandstoffen.</p>	<p>Onderzoek naar de effecten van sporenelementen (Cl, K, Na,P) in de rookgassen van verbrandingsinstallaties en motoren op vloeibare hernieuwbare brandstoffen, welke reductierendementen (&gt;90%) en de levensduur van de SCR beperken. Hoe SCR aanpassen aan de afkomst en kwaliteit van hernieuwbare brandstoffen.</p>	<p>Bij producenten van installaties is onderzoek lopende naar de inzetbaarheid en haalbare rendementen (o.a. Wartsila).</p>
<p>Onduidelijkheid over de emissies bij het gebruik van dierlijke en plantaardige vetten in scheepsmotoren. Scheepsmotoren op zware stookolie halen veel lagere emissieniveaus.</p>	<p>Onderzoek naar mogelijke verdere reductie van NOx-emissies van scheepsmotoren op biofuels. De hogere zuurstofgehalten in biofuels zorgen voor verhoogde temperaturen en drukken in de cilinders van de motor en aldus voor hogere NOx-emissies. Hierbij kan enerzijds nagegaan worden hoe vloeibare hernieuwbare brandstoffen verder kunnen geoptimaliseerd worden om te voldoen aan de eigenschappen van fossiele brandstoffen. Anderzijds kan de motortechnologie voor biofuels verder afgestemd worden op de eigenschappen van biofuels.</p>	<p>Verdere ontwikkelingen bij de producenten is lopende.</p>
<p>Het gebruik van de Code van goede praktijk voor het bewerken van houtafval bestemd voor kleinschalige verbrandingsinstallaties (OVAM).</p>	<p>Meetcampagne om het effect van de implementatie van de code van goede praktijk na te gaan.</p>	<p>De genoemde code van goede praktijk is sinds januari 2008 van toepassing.</p>



## BIBLIOGRAFIE

- ANN., 'BAT Reference Document for large combustion plants', EIPPC Bureau, Sevilla, juni 2006
- ANN., 'BAT Reference Document for slaughterhouses and Animal By-products Industries', EIPPC Bureau, Sevilla, mei 2005
- ANN., 'prEN14961-1 Solid biofuels – Fuel specifications and classes – part 1: general classification', CEN/TC 335/WG 2 N143, december 2007
- ANN., 'VDI-Richtlinien: Emissionsminderung Holzarbeitung und verarbeitung – verbrennen von Holz und Holzwerkstoffen ohne Holzschutzmittel – VDI 34 62 Blatt 4', november 1996
- ANN., 'Opstellen en uitwerken van een methodologie voor een intersectorale afweging van de haalbaarheid en kostenefficiëntie van mogelijke maatregelen voor de reductie van diverse pollutemissies naar de lucht', studie door VITO-Ecolas in opdracht van LNE cel Lucht, VITO-Ecolas, juni 2005
- ANN., 'Biogasanlagen – Anforderungen zum Luftreinhaltung', Bayerisches landesamt für Umweltschutz, Augsburg 2002
- ANN., 'Untersuchungen zum Einsatz von oxidatieonskatalysator an landwirtschaftlichen Biogas-Verbrennungsmotoren', Bayerisches landesamt für Umweltschutz, Augsburg 2003
- BIOIS, 'Study on ex-post estimates of costs to business of selected prices of EU environmental legislation – case study on the LCP Directive', juni 2006
- BRIFFAERTS K., 'Verwerking dierlijke vetten en gebruikte fituurvetten en -olie', VITO, 2006
- BTG (Biomass Technology Group), 'Energie uit biomassa, achtergrondinformatie over beleid, chemie en techniek', Enschede, mei 2005
- BTG, 'Opwerking van slachtbijproducten tot een brandstof voor toepassing in stationaire dieselmotor', i.o.v. NOVEM, maart 2002
- CARSTEN NIELSEN, et. al., 'Straw for Energy Production – Technology, Environment and Economy', Centre for Biomass Technology, Denmark 1998
- CARVALHO L., WOPIENKA E., EDER G., FRIEDL G., HASLINGER W., WORTGETTER M., 'Emissions from combustion of Agricultural Fuels – results from combustion tests', Austrian bio-energy Centre GmbH, paper for the 15th European Biomass Conference&Exhibition, Berlijn, 7-11 mei 2007
- CENTRE FOR BIOMASS TECHNOLOGY, 'Straw for Energy Production, Technology – Environment – Economy', 2nd edn, <http://www.videncenter.dk/>, Denmark, 1998
- CENTRE FOR BIOMASS TECHNOLOGY, 'Wood for Energy Production, Technology – Environment – Economy', 2nd edn, <http://www.videncenter.dk/>, Denmark, 2002
- DERDEN A., GOOVAERTS L., VERCAEMST P., VRANCKEN K., 'Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor de glastuinbouw', VITO, juni 2005
- ECN, 'Kritische Succesfactoren Biomassa', ECN-C-99-061, juni 2000
- ECN, 'Mee/bijstookpotentieel biomassa in kolencentrales en aardgas-gestookte installaties', ECN-C-00-103, november 2000
- ECN, 'Wervelbedverbranding van diermeel ten behoeve van energieopwekking', ECN-C-03-011, mei 2003

- ECN en KEMA, 'Inzet van biomassa in zelfstandige kleinschalige installaties voor de opwekking van elektriciteit, berekening van de onrendabele top', ECN-C-05-016, i.o.v. Ministerie van Economische Zaken September 2005
- ECOLAS NV-Milieu Ltd, 'Assessment of the Application of Community Legislation to the Burning of Rendered Animal Fat – Final report 05/10572/AL', European Commission Unit ENV/C4, december 2006
- EGTEI, 'background paper: on revision of technical annexes of the UNECE CLRTAP Gothenburg protocol – Annex V table 4', stationary engines sub-group under the EGTEI', mei 2008
- ELDROP L, HARTMANN H., SHNEIDER S., FISCHER J., JAHRAUS B., 'Leitfaden bio-energie', Bundesministerium für Verbraucherschutz, Duitsland 2007
- EMJV (Elektronische Milieu Jaarverslagen), 2007
- ERBINK J.J., SMEETS R.D., 'Emissies ten gevolge van het stoken van bio-oliën in verwarmingsketels in de glastuinbouw', KEMA Nederland, 2003
- ETA RENEWABLE ENERGIES, Chariamonti D., Tondi G., 'Stationary Applications of liquid Biofuels', PTA contract NNE5-PTA-2002-006, lot 36, December 2003
- EUROMOT, 'Stationary Engine Emission Legislation – diesel and gas', Frankfurt, November 2004
- Euromot&EGTEI Round Table Meeting, 27 februari 2008
- E. VAN WINGEN, 'WKK de stand van de techniek in Vlaanderen: diverse brandstoffen (aardgas, biogas, diesel en biofuel)', WKK promotiedag, 17 oktober 2005
- FLYVER CHRISTIANSEN, H., The Danish Energy Agency, FOCK M. W., Center for Biomass Technology at dk-TEKNIK ENERGY and ENVIRONMENT, 'LCA of Procurement and Conversion of Biomass and Fossil Fuels – used for Energy Production in Denmark 1997', poster presented at the First World Conference and Exhibition on Biomass for Energy and Industry, Sevilla, June 5-9 2000
- GARCIA C. ET AL., "Energiegewassen in de Vlaamse landbouwsector". Steunpunt Duurzame Landbouw, 2003
- GRIFT J.M., CONRADIE R., 'Toepassing van laagcalorisch stookgas in een minigasturbine: marktonderzoek', ECN-Pon Power i;o.v. SenterNovem, 30 juni 2006
- GTI ENERGY SOLUTIONS, 'Nieuwe brandertechniek voor directe ondervuring ten behoeve van de inzet van biobrandstoffen', december 2003
- HARTMANN H., TUROWSKI P., ROSSMANN P., ELLNER-SCHUBERTH F., HOPF N., 'Grain and Straw Combustion in Domestic Furnaces Influences of Fuel Types and Fuel Pretreatments', paper for the 15th European Biomass Conference&Exhibition, Berlijn, 7-11 mei 2007
- HELLE SERUP, et. al., 'Wood for Energy Production – Technology, Environment and Economy', Centre for Biomass Technology, Denmark 2002
- HILL, S.C., 'Modeling of nitrogen oxides formation and destruction in combustion systems', Progress in energy and Combustion science volume 26 issue 4-6, Augustus 2000
- HUYBRECHTS D. DIJKMANS R., 'Beste Beschikbare Technieken voor de verwerking van RWZI- en gelijkaardig industrieel afvalwaterzuiveringslib', VITO, februari 2001
- HUSTAD, J. E., SKREIBERG, Ø. AND SØNJU, O. K., Biomass combustion research and utilisation in IEA countries, Biomass and Bioenergy, vol 9, nos 1-5, pp235-255, 1995



- INFOMIL, 'Handleiding Energieopwekking uit frituurvetten-oliën en vetzuren', den Haag, november 2003
- INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES, 'Ex-post estimates of costs of business of EU environmental legislation', april 2006
- JOEP COENEN, STIJN SCHLATMANN, 'Rendabiliteit hernieuwbare brandstof WKK', Cogen projects, mei 2007
- JUOPERI KAI en OLLENS ROBERT, 'Alternative fuels for medium speed diesel engines', R&D Wärtsila, Finland, januari 2008
- KRISTENSEN P.G., JENSEN J.K., 'Emission factors for gas fired CHP units < 25 MW', Danish Gas technology Centre, Denmark, 2002
- KUROICHI K., 'Pulverised coal combustion characteristics of high fuel ratio coal', Fuel volume 83 issue 13, September 2004
- LABORELEC, 'Cursus verbranding', september 2005
- LEMMENS B., CEULEMANS J., ELSLANDER H., VANASSCHE S., BRAUNS E. en VRANCKEN K., 'Beste Beschikbare Technieken voor mestverwerking', VITO, november 2006
- MAKINO H, 'Combustion characteristics of low grade coal', Yokosuka Research laboratory
- MAN, *Emission control of two stroke diesel engines*, Denmark, 2004
- MAN, API Tanker Conference, juni 2008
- NOVEM, 'Technologische perspectieven voor reductie van NOx- en stofemissies bij kleinschalige energieopwekking uit schoon (rest)hout, rapport 2EWAB00.31', Utrecht, Oktober 2000
- NUSSBAUMER T, 'Dioxinemissionen von Verbrennungsanlagen für Holz und Restholz bis 10 MW: Grundlagen und stand der technik', Zürich, Augustus 2003
- NUSSBAUMER T., 'Feinstaubabscheider: wirkung und kosten', Umwelt Perspektiven, Forch, februari 2007
- NUSSBAUMER T., 'Fuel staging for NOx reduction in biomass combustion, experiments and modeling', Energy and fuels issue 15, januari 2001
- NUSSBAUMER, T., 'Furnace design and combustion control to reduce emissions and avoid ash slagging', International Energy Agency, *Biomass Combustion Activity*, Final Report of the Triennium 1995-1997, Report No. IEA Bioenergy: T13: *Combustion*, no 03, 1998
- NUSSBAUMER, T., *Primary and secondary measures for the reduction of nitric oxide emissions from biomass combustion*, in *Developments in Thermochemical Biomass Conversion*, Blackie Academic & Professional, pp1447-1461, 1997
- NUSSBAUMER t., CZASCH C., KLIPPEL N., JOHANSSON L., TULLIN C., 'Particulate Emissions from Biomass Combustion in IEA Countries' – Survey on measurements and Emission factors', International Energy agency Bioenergy task 32, Zurich, januari 2008
- OBERNBERGER I., BRUNNER T., BÄRNTHALER G., 'Chemical properties of solid biofuels significant and impact', Austria 2005
- OBERNBERGER I., BRUNNER T., BÄRNTHALER G., 'Fine Particulate Emissions from Modern Austrian Small-Scale Biomass Combustion Plants', paper for the 15th European Biomass Conference&Exhibition, Berlijn, 7-11 mei 2007
- OBERNBERGER, I., 'Nutzung fester Biomasse', in *Verbrennungsanlagen unter besonderer Berücksichtigung des Verhaltens aschebildender Elemente*, volume 1 of Thermal Biomass

- Utilization series, BIOS, Graz, Austria, dbv-Verlag der Technischen Universität Graz, Graz, Austria, 1997
- OBERNBERGER, I., BIEDERMANN, F. and KOHLBACH, W., *FRACTIO – Fraktionierte Schwermetallabscheidung in Biomasseheizwerken*, Jahresbericht des 2. Projektjahres zum gleichnamigen ITF-Projekt mit Unterstützung der Bund-Bundesländerkooperation, Institute of Chemical Engineering, University of Technology Graz, Austria, 1996a
- OBERNBERGER, I., PANHOLZER, F. and ARICH, A., *System- und PH-Wert-abhängige Schwermetalllöslichkeit im Kondensatwasser von Biomasseheizwerken*, final report, research project of the State Government of Salzburg and the Ministry of Science, Research and the Arts, Institute of Chemical Engineering, University of Technology Graz, Austria, 1996b
- PRITCHARD S.G., DIFRANCESCO C.E., VON ALTEN T.R., *SCR catalyst performance under severe operation conditions*, Cormetech
- RABOU L.P.L.M., GRIFT J.M. CONRADIE R.E., FRANSEN S., ‘*Microgasturbine voor laag-calorisch stookgas uit biomassa*’, ECN-E-06-026, SenterNovem-ECN-Cogen projects, HoSt en Pon power, oktober 2006
- RUCH D., ‘*BHKW-OPTimierung und SCR katalysator Kompaktbiogasanlagen Küßnacht*’, Bundesamt für Energie, december 2005
- SALMENOJA, K. and MÄKELÄ, K., *Chlorine-induced superheater corrosion in boilers fired with biomass*, in *Proceedings to the 5th European conference on industrial furnaces and boilers*, Espinho, INFUB, Rio Tinto, Portugal, April 2000
- SCHEERLINCK Ph., ‘*Warmtekrachtkoppeling in de glastuinbouw – onderzoek naar het gebruik van palmolie als brandstof*’, Groep-T Technische Hogeschool Leuven, 2006-2007
- SIMENTO N., ‘*Fuel Nitrogen and NOx formation*’, CRC for coal in sustainable development, CCSD, Australië, 2002
- SMEETS W.L.M., ‘*Kosteneffectiviteit van aanvullende maatregelen voor een schone lucht*’, Milieu en Natuur Planbureau – Luchtkwaliteit en Europese Duurzaamheid, 2007
- STUBENBERGER G., SCHARLER R., OBERNBERGER I., ‘*Nitrogen release behavior of different biomass fuels under lab-scale and pilot-scale conditions*’, Austrian Bioenergy Centre GmbH, paper for the 15th European Biomass Conference&Exhibition, Berlijn, 7-11 mei 2007
- STUBENVOLL J., HOLZERBAUWER E., BÖHMER S., KRUTZLER T., JONHSEN T., ‘*Technische Massnahmen zur Minderung der Staub- und NOx-Emissionen bei Wirbelschicht und Laugenverbrennungskesseln*’, Technisches Büro für Umweltschutz en Umweltbundesamt, Wien, 2007
- SULILATU, *Onderzoek naar de haalbaarheid van de toepassing van l-regelsystemen bij bestaande houtverbrandingsinstallaties*, TNO-rapport October 1997
- VAN LOO S. en KOPPEJAN J., ‘*Handbook of Biomass combustion and cofiring*’, december 2007
- VANDERSTRAETEN, P. EN DEVRIENDT, N., ‘*Studie optimale energetische valorisatie van houtafval*, VITO, november 2003
- VANDERSTRAETEN, P. EN DEVRIENDT, N., ‘*PCDD/F emissiereductie bij houtafvalverbranding met primaire maatregelen*’, VITO i.o.v. Vyncke, december 2004

- 
- VERHOEFF F., VAN DER MEIJDEN C., RATERING H., DE KANT E., BOS H., '*Branderonderzoek: ten behoeve van de verbranding van laag calorisch ammoniakrijk biomassa stookgas*', ECN-C-04-104, ECN-HoSt-Stork thermeq, oktober 2004
- VYNCKE ACADEMY, '*NOx and dioxine VN boiler*', 05 mei 2003
- VYNCKE, '*Entwicklung einer kombinierten Unterschub- und Einblasfeuerung zur Luft- und Brennstoffstufung*', Holzenergy-Symposium Zürich, Hans Fastenaekels, 18 oktober 2002
- VYNCKE, '*Measurement campaign*', 2003
- WÄRTSILA, persoonlijk contact J. Klimstra, '*Information on emissions of generating equipment fuelled by energy sources of biological origin*', Nederland, Oktober 2007
- WÄRTSILA, Wärtsila low ash liquid bio fuel specification, Juni 2007
- WÄRTSILA, Wärtsila SCR systems with bio fuels, Juni 2007
- WORLD BANK GROUP, '*Environmental, Health and Safety (EHS)*', Guidelines, 2007
- [www.biogas-e.be](http://www.biogas-e.be)
- [www.btgworld.com](http://www.btgworld.com) – factsheets
- [www.cogenvlaanderen.be](http://www.cogenvlaanderen.be)
- [www.energieprojecten.nl](http://www.energieprojecten.nl)
- [www.energiesectoren.nl](http://www.energiesectoren.nl)
- [www.pro-2.net](http://www.pro-2.net)-technische informatie karakteristieken brandstoffen voor gasmotoren
- [www.senternovem.nl](http://www.senternovem.nl) – duurzame energie
- [www.mde.com.cn/pdf/biogas.pdf](http://www.mde.com.cn/pdf/biogas.pdf)



# Bijlagen

---

## OVERZICHT VAN DE BIJLAGEN

Bijlage 1: Medewerkers BBT-studie . . . . .	219
Bijlage 2: Lijst van productie-installaties die biomassa (vast, vloeibaar of gasvormig) verbranden waaraan groenestroomcertificaten worden toegekend. . . . .	223
Bijlage 3: Berekeningen . . . . .	241
A. Berekening NO <sub>x</sub> en SO <sub>2</sub> Emissies voor vaste hernieuwbare brandstoffen . . . . .	241
B. Kostenberekeningen verbranding. . . . .	243
C. De gevoeligheidsanalyse op de kosten-berekeningen . . . . .	245
Bijlage 4: Omrekeningsformules en -factoren . . . . .	251
Bijlage 5: Technische fiches . . . . .	253
Bijlage 6: Finale opmerkingen . . . . .	309

**Bijlage 1****MEDEWERKERS BBT-STUDIE****Kenniscentrum voor Beste Beschikbare Technieken**

- Ann Van der Linden – Liesbet Goovaerts – Karl Vrancken  
BBT-kenniscentrum  
p/a VITO  
Boeretang 200  
2400 Mol  
Tel. (014)33 58 68  
Fax. (014)32 11 85  
E-mail: bbt@vito.be

**Contactpersonen federaties België**

- Biogas-e  
Filip Velghe en Bruno Mattheeuws  
Graaf Karel de Goedelaan 5  
8500 Kortrijk
- Boerenbond  
Tine Deheeger en Mark Moons  
Diestsevest 40  
3000 Leuven
- Bond Beter Leefmilieu  
Bram Clacys  
Tweekerkenstraat 47  
B-1000 Brussel
- Cogen Vlaanderen  
Zwarte Zustersstraat 16 bus 9  
3000 Leuven
- FEBEM  
Kamiel Janssens, Maarten Meersschaert, Peter Segers, Bert Straetmans, Ann Top, Peter van Kessel, Filip Vercauteren, Guido Wauters, Hugo Knevels en Tom Beeks  
Paviljoenstraat 9  
1030 Brussel
- Fedustria  
Hof-ter-Vleestdreef 5 bus 1  
1070 Brussel
- ODE  
Francies Van Gijzeghem  
Marktplein 7  
3550 Heusden-Zolder

- VCM  
Bart Verstrynge  
Abdijbekestraat 9  
8200 Brugge
- VVSG  
Johan Bonnier en Christof Delatter  
Paviljoenstraat 9  
1030 Brussel

Bovenstaande personen vertegenwoordigden de betrokken federaties in het begeleidingscomité voor deze studie.

### **Contactpersonen administraties/overheidsinstellingen**

- LNE – Afdeling Lucht, Hinder, Risicobeheer, Milieu & Gezondheid – dienst lucht  
Peter Meulepas  
Graaf de Ferrarisgebouw  
Koning Albert II-laan 20, bus 8  
1000 Brussel
- LNE – Afdeling Milieuvergunningen  
Katrien Vandersande  
Graaf de Ferrarisgebouw  
Koning Albert II-laan 20, bus 8  
1000 Brussel
- LNE – Afdeling Milieu-inspectie  
Erik Schoubs  
Graaf de Ferrarisgebouw  
Koning Albert II-laan 20, bus 8  
1000 Brussel
- OVAM  
Nico Vanaken, Luk Umans en Daneel Geysen  
Stationsstraat 110  
2800 Mechelen
- Vlaams Energie Agentschap  
Lieven van Lieshout  
Graaf de Ferrarisgebouw  
Koning Albert II-laan 20, bus 17  
1000 Brussel
- VMM  
Myriam Rosier, Kristien Caekebeke en Lut Hoebeke  
A. Van de Maelestraat 96  
9320 Erembodegem



- VREG  
Katrien Verwimp en Karolien verhaegen  
Graaf de Ferrarisgebouw  
Koning Albert II-laan 20, bus 19  
1000 Brussel

Bovenstaande personen vertegenwoordigden de administraties en andere overheidsinstellingen in het begeleidingscomité voor deze studie.

### **Vertegenwoordigers uit de bedrijfswereld**

- Aspiravi  
Bart Goddyn  
Vaarnewijkstraat 18  
8530 Harelbeke
- CBS  
Stefaan Paulus  
Doorniksesteenweg 81A bus 7b  
8500 Kortrijk
- EcoEnergy  
Harry Cottyn  
Leeuwbeekstraat 11  
3454 Rummen
- Electrabel  
Hilde de Buck  
Rodestraat 125  
1630 Linkebeek
- Electrawinds  
Jan Dewulf  
John Cordierlaan 9  
8400 Oostende
- Geldof NV  
Peter Geldof  
Vlamingstraat 8  
8560 Wevelgem
- Laborelec  
Francis Hanssens  
Rodestraat 125  
1630 Linkebeek
- M-tech  
Annemie Kerkhofs en Peter De Bruyne  
Industrieweg 118  
9032 Gent

- Rendac NV  
Fabriekstraat 2  
9470 Denderleeuw
- Typhoon/Biosynergy  
Peter Santens  
Gentseheerweg 148  
8870 Izegem
- Vyncke  
Hans Fastenaekels  
Gentsesteenweg 224  
8530 Harelbeke

Bovenstaande personen vertegenwoordigden de bedrijven in het begeleidingscomité voor deze studie.

#### **Bezochte bedrijven tijdens het uitvoeren van de studie**

- Installaties CBS  
Contactpersonen: Stefaan Paulus
- Rendac  
Contactpersonen: Sonny Verscheure
- Electrawinds  
Contactpersonen: Piet Vanoutrive
- Laborelec  
Contactpersonen: Hilde de Buck en Francis Hanssens
- BIOX  
Contactpersonen: Arjen brinkmann en Bert Groeneveld

## Bijlage 2

**LIJST VAN PRODUCTIE-INSTALLATIES DIE BIOMASSA (VAST, VLOEIBAAR OF GASVORMIG) VERBRANDEN WAARAN GROENESTROOMCERTIFICATEN WORDEN TOEGEKEND**

Producent	Adres Producent	Productie-installatie	Technologie	Vermogen [kW]	Adres installatie
Aquaflin NV	Dijkstraat 8, 2630 Aartselaar	0002 RWZI Dendermonde	biogas – RWZI	542	Driëbek 9, 9200 Dendermonde
Aquaflin NV	Dijkstraat 8, 2630 Aartselaar	0003 RWZI Genk	biogas – RWZI	195	Diepenbekerbos 12, 3600 Genk
Aquaflin NV	Dijkstraat 8, 2630 Aartselaar	0006 RWZI Hasselt	biogas – RWZI	275	Rode Rodestraat 200, 3511 Hasselt
Aquaflin NV	Dijkstraat 8, 2630 Aartselaar	0008 RWZI Leuven	biogas – RWZI	312	Aarschotsesteenweg 208, 3010 Kessel-Lo
Aquaflin NV	Dijkstraat 8, 2630 Aartselaar	0014 RWZI Zwalm	biogas – RWZI	147	Bruggenhoek 7, 9630 Zwalm
Depovan NV	Moorseelsesteenweg 32, 8800 Roeselare	0003-1 Depovan 1	biogas – stortgas	787	Moorseelsesteenweg 32, 8800 Roeselare
EBEM BVBA	Markt 1, 2330 Merksplas	0008 IOK Merksplas-Beerse	biogas – stortgas	476	Moerstraat, 2330 Merksplas
Electrabel NV	Gewijde Boomstraat 46, 1000 Brussel	0012-1 Ruijen Houtstof	biomassa gesorteerd of selectief ingezameld afval	14000	Herpelgem 18, 9690 Kluisbergen
GRC NV	Sint-Jansweg 10, 9310 Kallo (Beveren-Waas)	0014 Kallo Wind	windenergie op land	600	Sint-Jansweg 10, 9130 Kallo (Beveren-Waas)
Igean CV	Doornaardstraat 60, 2160 Wommelgem	0001 Dranco1&2	biogas – overtig	2261	Oostmallebaan, 2960 Brecht
Middelwind NV	Vaarnewijkstraat 18, 8530 Harelbeke	0020 Middelwind I	windenergie op land	660	Boterdijk, 8434 Middelkerke
REMO NV	Ekkelgaarden 16, 3500 Hasselt	0012 REMO (1-8)	biogas – stortgas	9539	Loerstraat, 3530 Houthalen-Helchteren
Electrabel Green Projects Flanders (EGPF)	Regentlaan 8, 1000 Brussel	0003 Bobbejaanland	windenergie op land	660	Olensesteenweg 0, 2460 Kastertlee
Aspiravi Plus NV	Vaarnewijkstraat 18, 8530 Harelbeke	0024-1 Pathoekeweg-winds	windenergie op land	5400	Pathoekeweg, 8000 Brugge
G.A.S. Energietechnologie GmbH	Hessenstrasse 57, 1500 Halle	0006 Ilva Vierzele	biogas – stortgas	1207	Bussegem 2, 9520 Sint-Lievens-Houtem
Aquaflin NV	Dijkstraat 8, 2630 Aartselaar	0013 RWZI Zele	biogas – RWZI	110	Dijkstraat 176, 9240 Zele
Aquaflin NV	Dijkstraat 8, 2630 Aartselaar	0010 RWZI Sint-Truiden	biogas – RWZI	194	Grazenweg 13, 3803 Runkelen
Ecopower	Statiestraat 164E, 2600 Berchem	0018 Leidijkmolen Eeklo	windenergie op land	1800	Ringlaan 64, 9900 Eeklo
Ecopower	Statiestraat 164E, 2600 Berchem	0031 Verheylegatmolen Eeklo	windenergie op land	1800	Nieuwendorpe 30, 9900 Eeklo

Producent	Adres Producent	Productie-installatie	Technologie	Vermogen [kW]	Adres installatie
Ecopower	Statiestraat 164E, 2600 Berchem	0012 Honderdbundermolen Eeklo	windenergie op land	600	Zandvleugel 64, 9900 Eeklo
Ecomac NV	Ekkelgaarden 16, 3500 Hasselt	0009 Ecomac	biogas – overig	110	Ruitersbaan 18, 3990 Peer
Electrabel NV	Gewijde Boomstraat 46, 1000 Brussel	0016 Ruien houtgas	biogas – overig	20000	Herpelgem 18, 9690 Kluisbergen
Slachthuis De Rese	Torhoutsesteenweg 237, 8210 Zedelgem	0019 Slachthuis De Rese	biogas – overig	500	Torhoutsesteenweg 237, 8210 Zedelgem
Iveka	Brusselssesteenweg 199 Blok A – 1 e verdiep, 9090 Melle	0005 Igean Stort	biogas – stortgas	310	Oostmalsebaan 70-74, 2960 Sint-Lenaarts
Iveka	Brusselssesteenweg 199 Blok A – 1 e verdiep, 9090 Melle	0009 TOK Olen	biogas – stortgas	230	Rendelaar, 2250 Olen
Electrabel NV	Gewijde Boomstraat 46, 1000 Brussel	0001 DDS Stort	biogas – stortgas	288	Bevrijdingslaan 201, 9200 Dendermonde
Electrabel NV	Gewijde Boomstraat 46, 1000 Brussel	0003 Van Remoortel	biogas – overig	660	Verheyenplein 8, 9130 Verrebroek
Helme Drive Center NV	Bleyveldstraat 9, 3320 Hoegaarden	0010 Interbrew Hoegaarden	biogas – overig	165	Altenaken 7, 3320 Hoegaarden
Electrawinds-Plus NV	Plassendale 1, 8440 Oostende	0004 Boels Beheer	windenergie op land	1800	Industriepark De Arend 13, 8210 Zedelgem
Aspiravi Plus NV	Vaarnewijkstraat 18, 8530 Harelbeke	0028 Transeeklo	windenergie op land	1800	Industrielaan 7, 9900 Eeklo
Electrabel NV	Gewijde Boomstraat 46, 1000 Brussel	0026 Rodenhuize	windenergie op land	4000	Rodenhuizekaai 3, 9042 Gent
IVAREM	Schoutestraat 2, 2800 Mechelen	0010 IVAREM	biogas – stortgas	1244	Maaikeneveld 47, 2500 Lier
Etn. Fr. Colruyt NV	Edingensesteenweg 196, 1500 Halle	0011 Halle (Colruyt)	windenergie op land	1600	Zinkstraat 1, 1500 Halle
Electrabel NV	Gewijde Boomstraat 46, 1000 Brussel	0002 De Kock-Watco	biogas – stortgas	1081	Wolfshaegen 15, 3040 Huldenberg
Middelwind NV	Vaarnewijkstraat 18, 8530 Harelbeke	0021 Middelwind II	windenergie op land	900	Boterdijk, 8434 Lombardsrijde
Aspiravi NV	Vaarnewijkstraat 18, 8530 Harelbeke	0011 Pellenberg Stort	biogas – stortgas	181	Papenveld, 3210 Lubbeek
Aspiravi NV	Vaarnewijkstraat 18, 8530 Harelbeke	0001 Bocholt Hydro	waterkracht	60	Snellewindstraat, 3950 Bocholt
Aspiravi NV	Vaarnewijkstraat 18, 8530 Harelbeke	0010 Godsheide	windenergie op land	1200	Boksbeemdenstraat, 3500 Hasselt
Aspiravi NV	Vaarnewijkstraat 18, 8530 Harelbeke	0015 Kapelle-op-den-Bos	windenergie op land	1200	Vaardijk, 1880 Kapelle-op-den-Bos
Aspiravi NV	Vaarnewijkstraat 18, 8530 Harelbeke	0003 Lozen Hydro	waterkracht	100	Kempenstraat, 3950 Bocholt
Aspiravi NV	Vaarnewijkstraat 18, 8530 Harelbeke	0037 Zeebrugge	windenergie op land	8600	Wolvenstraat, 8380 Zeebrugge
Ecopower	Statiestraat 164E, 2600 Berchem	0007 Watermolen Overijse	waterkracht	12	Stationsplein 7, 3090 Overijse
StoraEnso Langerbrugge NV	Wondelgemkaai 200, 9000 Gent	0014 StoraEnso Slib	biomassa gesorteerd of selectief ingezameld afval	11000	Wondelgemkaai 200, 9000 Gent

Producent	Adres Producent	Productie-installatie	Technologie	Vermogen [kW]	Adres installatie
PV_Centrum Duurzaam BouwenVZW	Marktplein 7 b1, 3550 Heusden-Zolder	PV0000279	zonne-energie	15,12	Marktplein 7 b1, 3550 Heusden-Zolder
BP_CHEMBEL NV	Amocolaan 2, 2440 Geel	0008 BP Chembel	biogas – overig	560	Amocolaan 2, 2440 Geel
Renson Ventilation NV	Maalbeekstraat 10, 8790 Waregem	0025 Renson	windenergie op land	15	Maalbeekstraat 10, 8790 Waregem
Oudegem Papier NV	Oude Baan 120, 9200 Dendermonde	0014 Oudegem Papier	biogas – overig	540	Oude Baan 120, 9200 Dendermonde
PV_De Boot VZW	Ieperleedijkstraat 1A, 8650 Merkem	0006 De Boot Wind	windenergie op land	1,4	Ieperleedijkstraat 1a, 8600 Merkem
Wim Decoster	Vaartdijk-Zuid 8, 8460 Oudenburg	0033 Wim Decoster wind	windenergie op land	4,25	Vaartdijk-Zuid 8, 8460 Oudenburg
Electrabel NV	Gewijde Boomstraat 46, 1000 Brussel	0027 Schelle Wind	windenergie op land	4500	Alexander Wuststraat, 2627 Schelle
Electrabel NV	Gewijde Boomstraat 46, 1000 Brussel	0034 Windpark Herdersbrug-VCR	windenergie op land	3000	Pathoekeweg 300, 8000 Brugge
I.V.V.O.	Bargiestraat 6, 8900 Ieper	0002 IWO Ieper	biogas – overig	1408	Bargiestraat 6, 8900 Ieper
Agri-Power BVBA	Gemeentebos 6, 2390 Malle	0013 Jos Renders Biogas	biogas – overig	418	Gemeentebos 6, 2390 Malle
EGPF WHH cvba	Regentlaan 8, 1000 Brussel	0036-1 Wondelgem Wind Multi-mix	windenergie op land	4000	Industrielaan 104, 9042 Wondelgem
Aspiravi NV	Vaarnewijkstraat 18, 8530 Harelbeke	0014 Stevan Stort	biogas – stortgas	332	Heulsestraat 87, 8860 Lendelede
Electrabel NV	Gewijde Boomstraat 46, 1000 Brussel	0002 Indaver Restafval	biomassa uit huishoudelijk afval	8600	Haven 1940, Molenweg, 9130 Doel
EGPF WHH cvba	Regentlaan 8, 1000 Brussel	0013 Hoogstraten Wind	windenergie op land	12000	Eindsestraat 9000, 2320 Hoogstraten
Danny Vansteenkiste	Klerkenstraat 17, 8610 Zarren	0030 Vansteenkiste Wind	windenergie op land	1,5	Klerkenstraat 17, 8610 Zarren
Ecopower	Statiestraat 164E, 2600 Berchem	0002 Grote Molen Hoegaarden	waterkracht	20	Ernest Ourystraat 65-69, 3320 Hoegaarden
Ecopower	Statiestraat 164E, 2600 Berchem	0004 Molen Van Doren	waterkracht	88	Molenstraat 2, 3110 Rotselaar
Ecopower	Statiestraat 164E, 2600 Berchem	0006 Sluismolen Leuven	waterkracht	33	Glasblazerijstraat, 3000 Leuven
Electrabel NV	Gewijde Boomstraat 46, 1000 Brussel	0003 ISVAG restafval	biomassa uit huishoudelijk afval	11500	Boomsesteenweg 1000, 2610 Wilrijk
Hooge Maey	Moerstraat 55 Haven 550, 2030 Antwerpen	0004 Hooge Maey Stort	biogas – stortgas	2832	Moerstraat 55 Haven 550, 2030 Antwerpen
IVEB NV	Kruisbos 17, 2920 Kalmlhout	0012 IVEB biogas	biogas – overig	1095	Vaartkant Rechts 11, 2960 Brecht
Electrawinds-Brugge NV	Plassendale 1, 8400 Oostende	0007 Electrawinds-Brugge Pathoekeweg	windenergie op land	12600	Kleine Pathoekeweg, Pathoekeweg, Grote Vlietstraat, 8000 Brugge
IV00	Klokhofstraat 2, 8400 Oostende	0007 IV00 restafval	biomassa uit huishoudelijk afval	2300	Klokhofstraat 2, 8400 Oostende

Producent	Adres Producent	Productie-installatie	Technologie	Vermogen [kWe]	Adres installatie
Vleemo NV	Medialaan 34, 1800 Vilvoorde	0032 Vleemo wind	windenergie op land	4000	Amsterdamstraat 18, 2000 Antwerpen
IVM ov	Markt 34, 9900 Eeklo	0006 IVM restafval	biomassa uit huishoudelijk afval	3500	Sint-Laureinsesteenweg 29, 9900 Eeklo
Aquaflin NV	Dijkstraat 8, 2630 Aartselaar	0001 RWZI Antwerpen-Zuid	biogas – RWZI	300	Kielsbroek 5, 2020 Antwerpen-Zuid
Helimke Drive Center NV	Bleyveldstraat 9, 3320 Hoegaarden	0004 Alpro	biogas – overtig	220	Vlamingstraat 28, 8560 Wevelgem
Helimke Drive Center NV	Bleyveldstraat 9, 3320 Hoegaarden	0022 Unifrost	biogas – overtig	291	Zwevezelestraat 142, 8851 Koolskamp
IMOG	Kortrijksesteenweg 264, 8530 Harelbeke	0001 IMOG Restafval	biomassa uit huishoudelijk afval	2500	Kortrijksesteenweg 264, 8530 Harelbeke
De Scheepvaart NV	Havenstraat 44, 3500 Hasselt	0012 Wijnegem Waterkracht	waterkracht	330	Sluis Wijnegem, Stokerijstraat, 2110 Wijnegem
Aspiravi NV	Vaarnewijkstraat 18, 8530 Harelbeke	0011 Interbrew Leuven	biogas – overtig	944	Vuurkruisenlaan, 3000 Leuven
SPE N.V.	Regentlaan 47, 1000 Brussel	0007 Harelbeke biobrandstof	biomassa uit land- of bosbouw	80000	Vaarnewijkstraat 20, 8530 Harelbeke
Electrabel NV	Gewijde Boomstraat 46, 1000 Brussel	0009 Mol Olijfpulp	biomassa gesorteerd of selectief ingezameld afval	6000	Lichtstraat 55, 2400 Mol
Bionerga NV	Centrum Zuid 2098, 3530 Houthalen-Hechteren	0008 Bionerga	biomassa uit huishoudelijk afval	2600	Centrum Zuid 2098, 3530 Houthalen-Hechteren
PV_Nieuw Dak cvba	Grotestraat 65, 3600 Genk	PV0000072	zonne-energie	10,08	Het Hofken, 3600 Genk
Fortech BVBA	Samelstraat 21A, 9170 Sint-Gillis-Waas	0017 Krubieke Wind	windenergie op land	6000	Wilgenstraat – Wilgendam – Nieuwe Veldstraat, 9150 Krubieke
Beauvent cvba	Sint-Bertinusstraat 39, 8630 Bultskamp	0022 Nieuwkapelle Wind	windenergie op land	1600	Lepelstraat, 8600 Nieuwkapelle
IVBO	Pathoekeweg 41, 8000 Brugge	0005 IVBO Restafval	biomassa uit huishoudelijk afval	1700	Pathoekeweg 41, 8000 Brugge
De Becker Electrogroep	Breker 13, 1730 Asse	0004 De Becker Asse PPO	biomassa uit land- of bosbouw	2525	Breker 13, 1730 Asse
Ecopower	Statiestraat 164E, 2600 Berchem	0016-1 Kluisendok Wind Ecopower	windenergie op land	22000	Christoffel Columbuslaan / Vasco Da Gamalaan, 9000 Gent
Electrabel NV	Gewijde Boomstraat 46, 1000 Brussel	0008 Mol Koffiedik	biomassa gesorteerd of selectief ingezameld afval	6000	Lichtstraat 55, 2400 Mol
Electrabel NV	Gewijde Boomstraat 46, 1000 Brussel	0015 Primeur biogas	biogas – overtig	717	Schoendaalesstraat 212, 8793 Sint-Eloois-Vijve

Producent	Adres Producent	Productie-installatie	Technologie	Vermogen [kW <sub>e</sub> ]	Adres installatie
Electrabel NV	Gewijde Boomstraat 46, 1000 Brussel	0003 Langerlo Houtstof	biomassa gesorteerd of selectief ingezameld afval	28000	Swinnenwijnweg, 30, 3600 Genk
StoraEnso Langerbrugge NV	Wondelgemkaai 200, 9000 Gent	0013 StoraEnso Hout	biomassa gesorteerd of selectief ingezameld afval	11000	Wondelgemkaai 200, 9000 Gent
Electrawinds – Biomassa	Kuijpweg 44, B – 8400 Oostende	0002 Biomassacentrale Oostende	biomassa gesorteerd of selectief ingezameld afval	12800	Kuijpweg 44, 8400 Oostende
Biocogen BVBA	Brusselstraat 59, 2018 Antwerpen	0005 Biocogen Oudegem	biogas – overig	14.16	Oude Baan 120, 9200 Dendermonde
Electrabel NV	Gewijde Boomstraat 46, 1000 Brussel	0009 Rodenhuize Houtpellets	biomassa uit land- of bosbouw	90000	Rodenhuizekaai 3, 9042 Gent
EGPF WHH cvba	Regentlaan 8, 1000 Brussel	0005 Celanese Lanaken	windenergie op land	8000	Industrieweg 80, B – 3620 Lanaken
Helimke Drive Center NV	Bleyveldstraat 9, 3320 Hoegaarden	0025 Westfro-Staden	biogas – overig	291	Grote Veldstraat 114, B – 8840 Staden
GISLOM nv	Vaarnewijkstraat 18, B – 8530 Harelbeke	0029 Umicore Lommel	windenergie op land	8000	J&R Vlegelstraat, 3920 Lommel
IVAGO	Proeftuinstraat 43, 9000 Gent	0004 IWAGO restafval	biomassa uit huishoudelijk afval	6640	Proeftuinstraat 43, 9000 Gent
Tiense Suikerrafinaderij NV	Aandorenstraat 1, 3300 TIENEN	0021 Tiense Suiker	biogas – overig	593	Aandorenstraat 1, 3300 Tienen
Aquafin NV	Dijkstraat 8, 2630 Aartselaar	0004 RWZI Gent	biogas – RWZI	413	Drongensesteenweg 254, 9000 Gent
Sappi Lanaken nv	Montaigneweg 2, 3620 Lanaken	0017 Sappi biogas	biogas – overig	1064	Montaigneweg 2, 3620 Lanaken
Aspiravi NV	Vaarnewijkstraat 18, 8530 Harelbeke	0035 Windpark Rupeltunnel	windenergie op land	4000	Gansbroekstraat, 2870 Puurs
SLECO nv	Molenweg Haven 1940, 9130 Beveren-Waas	0001 Sleco	biomassa gesorteerd of selectief ingezameld afval	34000	Haven 1940, Molenweg, 9130 Doel
SeeBA Windpark BVBA	Tielger Allee 60, 32351 Stemwede	0023 Niike Windpark	windenergie op land	9000	Nikelaan 1, 2430 Laakdal
Ruttermolen vzw	Ruttermolenstraat 20, 3700 Tongeren	0005 Ruttermolen	waterkracht	8	Ruttermolenstraat 20, 3700 Tongeren
PVZG_SIVO	Meensesteenweg 452, 8800 Roeselare	PVZG00002	zonne-energie	12,96	Meensesteenweg 452, 8800 Roeselare
PVZG_Limburgse Tuinbouwveiling	Industrieweg 1035, 3540 Herk-De-Stad	PVZG00003	zonne-energie	77,92	Industrieweg 1035, 3540 Herk-De-Stad
Belpower	Vivoordelaan 200, 1000 Brussel	PVZG00004	zonne-energie	40,8	Zuidstraat 23, 9970 Kaprijke
G.A.S. Energietechnologie GmbH	Hessenstrasse 57, 1500 Halle	0013 Voorde Stort	biogas – stortgas	486	Geraardsbergsteenweg 660, 9400 Voorde
PVZG Dexia Insurance	Livingstonelaan 6, 1000 Brussel	PVZG00005 Dexia	zonne-energie	60,18	Patatenstraat 100, 1860 Meise
Ward Janssen	Guldentop 23, 3118 Werchter	0015 Ward Janssen PPO	biomassa uit land- of bosbouw	10	Guldentop 23, 3118 Werchter

Producent	Adres Producent	Productie-installatie	Technologie	Vermogen [kW]	Adres installatie
Senergho	Driewegenstraat 21, 8830 Hooglede	0018 Senergho	biogas – overig	373	Driewegenstraat 19B, 8830 Hooglede
PVZG_Deuren Defoort	Kortrijksestraat 210, 8501 Heule	PVZG00001 Deuren Defoort	zonne-energie	12,6	Kortrijksestraat 210, 8501 Heule
Helimke Drive Center NV	Bleyveldstraat 9, 3320 Hoegaarden	0024 Veurne Snack Foods	biogas – overig	220	Albert I-laan 33, 8630 Veurne
Aspiravi NV	Vaarnewijkstraat 18, 8530 Harelbeke	0001 Balendijk Lommel	windenergie op land	8000	Balendijk, 3920 Lommel
PVZG_Gemeenteb estuur Pittem	Markt 1, 8740 Pittem	PVZG00009	zonne-energie	15,12	Markt 1, 8740 Pittem
PVZG_Lidl	Guldensporenpark 90, blok J, 9820 Merelbeke	PVZG00008 – Lidl	zonne-energie	52,96	Westlaan 269, 8800 Roeselare
PVZG_Gemeenteb estuur Oud-Turnhout	Dorp 31, 2360 Oud-Turnhout	PVZG00007	zonne-energie	25,53	Pausenstraat 9, 2360 Oud-Turnhout
Enbo NV (EcoWatt)	Tienssteenweg 285, 3010 Kessel-Lo	0009 Watermolen Boortmeerbeek	waterkracht	55	Boortmeerbeek Sas, 3190 Boortmeerbeek
Enbo NV (EcoWatt)	Tienssteenweg 285, 3010 Kessel-Lo	0010 Watermolen Kampenhout	waterkracht	45	Haachtsteeweg Kampenhout Sas, 1910 Kampenhout
Enbo NV (EcoWatt)	Tienssteenweg 285, 3010 Kessel-Lo	0011 Watermolen Tildonk	waterkracht	45	Tildonk Sas, 3150 Haacht
Enbo NV (EcoWatt)	Tienssteenweg 285, 3010 Kessel-Lo	0008 Watermolen Battel	waterkracht	75	Battel Sas, 2800 Mechelen
Snijrozen Cassaer NV	Langeroot 2a, 9280 Wieze	0003 Cassaer	biomassa uit land- of bosbouw	688	Langeroot 2A, 9280 Wieze
Rousselot	Meulestedekaaai 81, 9000 Gent	0011 Rousselot	biomassa gesorteerd of selectief ingezameld afval	2000	Meulestedekaaai 81, 9000 Gent
Wimceco	Mussenhoevelaan 160, 2530 Boechout	0012 Wimceco	biomassa uit land- of bosbouw	1930	Mussenhoevelaan 160, 2530 Boechout
Etn. Fr. Colruyt NV	Edingensesteenweg 196, 1500 Halle	PVZG00010	zonne-energie	335	Zinkstraat 1, 1500 Halle
Aquafin NV	Dijkstraat 8, 2630 Aartselaar	0011 RWZI Turnhout	biogas – RWZI	298	Slachthuisstraat 62, 2300 Turnhout
Aquafin NV	Dijkstraat 8, 2630 Aartselaar	0009 RWZI Lichtaart	biogas – RWZI	298	Hoebenschot 200, 2460 Lichtaart
Aquafin NV	Dijkstraat 8, 2630 Aartselaar	0007 RWZI Hoogstraten	biogas – RWZI	298	Rollekens 4, 2320 Hoogstraten
Aquafin NV	Dijkstraat 8, 2630 Aartselaar	0012 RWZI Westerlo	biogas – RWZI	298	Kwarrekendreef 2, 2230 Westerlo
Groenergie / Franssens	Kleine Dauwstraat 14, 9190 Kemzeke	0006 Franssens palmolie	biomassa uit land- of bosbouw	230	Nieuwstraat 127, 9190 Stekene
Lissens	Pluimhofweg 28, 1745 Opwijk	0008 Lissens palmolie	biomassa uit land- of bosbouw	895	Pluimhofweg 28, 1745 Opwijk
Solae Belgium N.V.	Zwaanhofweg 1, 8900 Ieper	0020 Solae	biogas – overig	1416	Zwaanhofweg 1, 8900 Ieper



Producent	Adres Producent	Productie-installatie	Technologie	Vermogen [kW]	Adres installatie
PVZG_Van de Sompele – Stroo	Hazegrassstraat 152, 8300 Knokke-Heist	PVZG00011 Van de Sompele – Stroo	zonne-energie	30	Hazegrassstraat 152, 8300 Knokke-Heist
Vandaele Eric	Rijvers 66b, 9930 Zomeigem	0023 Vandaele mest	biogas – overig	692	Rijvers 66b, 9930 Zomeigem
Ecopower	Statiestraat 164E, 2600 Berchem	0014 Ecopower Eeklo plantenolie	biomassa uit land- of bosbouw	200	Industrielaan 2, 9900 Eeklo
Aquafin NV	Dijkstraat 8, 2630 Aartselaar	0005 RWZI Harelbeke	biogas – RWZI	298	Kortrijkssesteenweg 266, 8530 Harelbeke
PVZG_Marpa BVBA	Bouwhoef 6a, 2323 Wortel	PVZG00006 Marpa	zonne-energie	119	Bouwhoef 6a, 2323 Wortel
GISLOM nv	Vaarnewijkstraat 18, B – 8530 Harelbeke	0009 Gislom Gistel	windenergie op land	9200	Oostendse Baan/Vaartstraat, 8470 Gistel
PV_Boss Paints	Nijverheidsstraat 81, 8791 Beveren (Leie)	PVZG00019 Boss Paints	zonne-energie	51,6	Nijverheidsstraat 81, 8791 Beveren (Leie)
Provincie West-Vlaanderen	Koning Leopold III laan 41, 8200 Sint-Andries	0026 Beitem Vergisting	biogas – overig	31	Iepersweg 87, 8800 Rumbek
PVZG_Nic Verschelde	Bosstraat 9, 9930 Zomeigem	PVZG00014	zonne-energie	40	Bosstraat 9, 9930 Zomeigem
PVZG_Alvee	Vissenheuvel 10, 2910 Essen	PVZG00018	zonne-energie	51	Vissenheuvel 10, 2910 Essen
Electrawinds – West-Vlaanderen N.V.	Notenbosdreef 2, 8210 Zedelgem	0008 Electrawinds West-Vlaanderen – Gistel	windenergie op land	2000	Zomerloosstraat, 8470 Gistel
PVZG_Floriplants Maesen-Dietvorst	Everslaarstraat 109, 9160 Lokeren	PVZG00022	zonne-energie	19,8	Evertlaarstraat 109, 9160 Lokeren
Beauvent cvba	Sint-Bertinusstraat 39, 8630 Bultskamp	0002-1 Beauvent Gistel	windenergie op land	2300	Zomerloosstraat 43, 8470 Gistel
Bio-Electric	Wellingstraat 107A, 8730 Beernem	0027 Bio-Electric	biogas – overig	2461	Wellingstraat 107A, 8730 Beernem
PVZG_Glas Ceyskens	Mijnwerkerslaan 35, 3550 Heusden-Zolder	PVZG00044 Glas Ceyskens	zonne-energie	350	Mijnwerkerslaan 35, 3550 Heusden-Zolder
Aquafin NV	Dijkstraat 8, 2630 Aartselaar	0015 RWZI Morkhoven	biogas – RWZI	298	Wiekevorstseweg 44, 2200 Herentals
Luc De Smedt	Neerpoorten 40A, 1861 Wolvertem	0019 Luc De Smedt (micro windturbine)	windenergie op land	2,5	Neerpoorten 40A, 1861 Wolvertem
Vanoverbeke Guido	Galgestraat 14, 8890 Moorslede	0013 Vanoverbeke koolzaadolie	biomassa uit land- of bosbouw	84	Galgestraat 14, 8890 Moorslede
PVZG_Ann Demolin-Maenhout	Blankenbergsesteenweg 456, 8380 Dudzele	PVZG00031	zonne-energie	33	Blankenbergsesteenweg 456, 8380 Dudzele
Biomass Center BVBA	Bargiestraat 1, 8900 Ieper	0007 Biomass Center Ieper	biogas – overig	1021	Bargiestraat 1, 8900 Ieper

Producent	Adres Producent	Productie-installatie	Technologie	Vermogen [kW]	Adres installatie
PVZG_Taipe NV	Kleine Passendalestraat 6, 8980 Beselare	PVZG00028	zonne-energie	33	Kleine Passendalstraat 6, 8980 Beselare
PVZG_ADPO Antwerp	Haven 1111, Steenlandlaan 3, 9130 Kallo (Beveren-Waas)	PVZG00032	zonne-energie	23,7	Haven 1111, Steenlandlaan 3, 9130 Kallo (Beveren-Waas)
PVZG_DDD bvba	Gaverssesteenweg 245, 9800 Deinze	PVZG00033 DDD	zonne-energie	25,5	Gaverssesteenweg 245, 9800 Deinze
A.K. Gistel bvba	Nieuwpoortsesteenweg 195 B, 8470 Gistel	0016 A.K. Gistel Plantenolie	biomassa uit land- of bosbouw	90	Nieuwpoortsesteenweg 195 B, 8470 Gistel
Electrawinds – West-Vlaanderen N.V.	Notenbosdreef 2, 8210 Zedelgem	0038 Electrawinds West-Vlaanderen Middelkerke	windenergie op land	800	Boterdijk, 8430 Middelkerke
PVZG_Electrawind s Solar NV	Notenbosdreef 2, 8210 Zedelgem	PVZG00037 Electrawinds Solar	zonne-energie	1308	Boterdijk, 8430 Middelkerke
Electrabel NV	Gewijde Boomstraat 46, 1000 Brussel	0028 Op De Beeck	biogas – overig	3740	Molenweg 1936, 9120 Kallo (Beveren-Waas)
PVZG_Freeze&Store NV	Nijverheidsstraat 12, 8210 Zedelgem	PVZG00034 Freeze & Store	zonne-energie	447,09	Nijverheidsstraat 12, 8210 Zedelgem
PVZG_Tikal NV	Sint-Amandsstraat 11, 8740 Pittem	PVZG00017 Tikal	zonne-energie	47,6	Sint Amandsstraat 11, 8740 Pittem
PVZG_VDV-Herbs	Keitske 30, 1703 Schepdaal	PVZG00035 VDV-Herbs	zonne-energie	24,9	Keitske 30, 1703 Schepdaal
PVZG_Geyssen Marleen	Bouwhoef 2, 2323 Wortel	PVZG00030	zonne-energie	138,5	Bouwhoef 2, 2323 Wortel
PVZG_Immo De Vroede	Laurys Gewatstraat 73a, 2560 Nijlen	PVZG00027-1	zonne-energie	186,4	Laurys Gewatstraat 73 a, 2560 Nijlen
PVZG_Maastrand Beheer en Logistiek NV	Ekkelgaarden 16, 3500 Hasselt	PVZG00026 Maastrand	zonne-energie	354	Weg naar Zwartberg 231, 3660 Opglabbeek
Scana Noliko nv	Industrieterrein Kanaal-Noord 2002, 3960 Bree	Scana Noliko	biogas – overig	350	Industrieterrein Kanaal-Noord 2002, 3960 Bree
De Baere Dirk	Geuzestraat 48, 9910 Knesselare	0021 De Baere Dirk	biomassa uit land- of bosbouw	242	Geuzestraat 48, 9910 Knesselare
PVZG_Jan van Alphen	Achterwaard 22a, 2322 Minderhout	PVZG00038_Jan van Alphen	zonne-energie	82,8	Achterwaard 22a, 2322 Minderhout
PVZG_Dirk Verstraete	Viggezelestraat 1, 8700 Kanegem	PVZG00039 Dirk Verstraete	zonne-energie	25,5	viggezelestraat 1, 8700 Kanegem
PVZG_Vertirama bvba	Meulebeeksesteenweg 22, 8700 Tielt	PVZG00040 Vertirama	zonne-energie	29,16	Meulebeeksesteenweg 22, 8700 Tielt
PVZG_Johan Boone	Hoorstraat 11, 9992 Middelburg	PVZG00015 Johan Boone	zonne-energie	21,25	Hoorstraat 11, 9992 Middelburg
PVZG_Zelfbouwm arkt	Ring West 11, 9400 Ninove	PVZG00041 Zelfbouwmarkt	zonne-energie	113	Ring West 11, 9400 Ninove
PVZG_Noppe Duyck BVBA	Bonestraat 57, 8760 Meulebeke	PVZG00036 Noppe Duyck	zonne-energie	34,62	Bonestraat 57, 8760 Meulebeke
Hans De Weerd (Hissenhove)	Roetestraat 18, 2570 Duffel	0019 Hans De Weerd (Hissenhove)	biomassa uit land- of bosbouw	1790	Roetestraat 18, 2570 Duffel

## LIJST VAN PRODUCTIE-INSTALLATIES DIE BIOMASSA VERBRANDEN

Producent	Adres Producent	Productie-installatie	Technologie	Vermogen [kW]	Adres installatie
Electrabel Solar Energy	Regentlaan 8, 1000 Brussel	PVZG00048 Electrabel Oostakker	zonne-energie	30	Smalleheerweg 31, 9041 Oostakker
PVZG_Christine Vanhaecke LV	Steenveldstraat 25, 8820 Torhout	PVZG00043 Christine Vanhaecke	zonne-energie	39,6	Steenveldstraat 25, 8820 Torhout
PVZG_Dirk Snels	Ketsenberg 3, 2340 Vlijmieren	PVZG00045 Dirk Snels	zonne-energie	35,9	Ketsenberg 3, 2340 Vlijmieren
PVZG_Bart Moonen	Turnhoutseweg 4, 2381 Weelde	PVZG00046 Moonen	zonne-energie	36	Turnhoutseweg 4, 2381 Weelde
PVZG_Omnisport NV	Alice Nahonlei 2, 2900 Schoten	PVZG00042 Omnisport	zonne-energie	17,5	Alice Nahonlei 2, 2900 Schoten
De Becker Electrogroep	Breker 13, 1730 Asse	0017 Jos De Weerd	biomassa uit land- of bosbouw	895	Bergstraat 43A, 2861 Onze-Lieve-Vrouw-Waver
De Becker Electrogroep	Breker 13, 1730 Asse	0018 Kris De Weerd	biomassa uit land- of bosbouw	895	Uilielei 7, 2861 Onze-Lieve-Vrouw-Waver
Green Energy Producers	Moulin de la Maltorne, 78125 MITTAINVILLE	Green Energy Producers	biogas – overig	720	Beverenstraat 78, 8691 Leisele
PVZG_Ramencons tructie Corswarem	Heersterveldweg 10, 3700 Tongeren	PVZG00047 Ramenconstructie Corswarem	zonne-energie	23,1	Heersterveldweg 10, 3700 Tongeren
PVZG_Elektro Decadt	Meulebekastraat 42, 8740 Pittem	PVZG00049 Elektro Decadt	zonne-energie	25,43	Meulebekastraat 42, 8740 Pittem
PVZG_Houtdraaie rij Coppens	Liersebaan 236, 2240 Massenhoven	PVZG00051 Houtdraaierij Coppens	zonne-energie	34,25	Liersebaan 236, 2240 Massenhoven
PVZG_Vissers Rudi	St-Lenaartseweg 209a, 2990 Loenhout	PVZG00050 Vissers Rudi	zonne-energie	41,4	St-Lenaartseweg 209a, 2990 Loenhout
PVZG_Kippenhof Nyst	Heiwijckstraat 47, 3620 Lanaken	PVZG00052 Kippenhof Nyst	zonne-energie	70,38	Heiwijckstraat 47, 3620 Lanaken
Electrabel NV	Gewijde Boomstraat 46, 1000 Brussel	0039 Electrabel Oostakker Wind	windenergie op land	6000	Smalleheerweg 31, 9041 Oostakker
Etn. Fr. Colruyt NV	Edingensesteenweg 196, 1500 Halle	PVZG00012 Colruyt Ninove	zonne-energie	74,8	Polderbaan 26, 9400 Ninove
PVZG_t Speienhof	Oostendsesteenweg 221, 8000 Brugge	PVZG00029 Speienhof	zonne-energie	50	Oostendsesteenweg 221, 8000 Brugge
PVZG_Kurt Faes	Gestelsestraat 45, 2321 Meer	PVZG00053 Kurt Faes	zonne-energie	50,4	Gestelsestraat 45, 2321 Meer
Danny Dens PPO	Beekstraat 114, 2500 Lier	Dens PPO	biomassa uit land- of bosbouw	1083	Beekstraat 114, 2500 Lier
Fraxicor	A. Denystraat 90-92, 1651 Lot	Fraxicor	biomassa gesorteerd of selectief ingezameld afval	25000	A. Denystraat 90-92, 1651 Lot
PVZG_Jacobs Koeling	Breesstraat 108, 3850 Kozen	PVZG00060 Jacobs Koeling	zonne-energie	304,2	Breesstraat 108, 3850 Kozen
PVZG_Stas NV	Staatsbaan 39, 3210 Lubbeek	PVZG00059 Stas	zonne-energie	257,4	Staatsbaan 39, 3210 Lubbeek

Producent	Adres Producent	Productie-installatie	Technologie	Vermogen [kW]	Adres installatie
PVZG_Q-Fruit bvba	Mierhoopweg 34, 3850 Wijer	PVZG00054 Q-Fruit	zonne-energie	64,8	Mierhoopweg 34, 3850 Wijer
PVZG_Mouton Guy	Zwaagerhullestraat 26, 9881 Belleme	PVZG00055 Mouton Guy	zonne-energie	22,75	Zwaagerhullestraat 26, 9881 Belleme
PVZG_Thylbert bvba	Predikherenstraat 1, 8730 Oedelem	PVZG00056 Thylbert	zonne-energie	51,34	Predikherenstraat 1, 8730 Oedelem
PVZG_Planet Europe	Kerkstraat 40, 2430 Kapellen (Antw.)	PVZG00057 Planet Europe	zonne-energie	37,8	Kerkstraat 40, 2430 Vorst (Kempen)
PVZG_Meli (Genes)	Handelsstraat 13, 8630 Veurne	PVZG00066	zonne-energie	400	Handelsstraat 13, 8630 Veurne
PVZG_Stad Genk	Stadsplein 1, 3600 Genk	PVZG00072	zonne-energie	239,4	Dieplaan 2, 3600 Genk
Aspiravi NV	Vaarnewijkstraat 18, 8530 Harelbeke	0029 Agristo Harelbeke	biogas – overig	537	Vaarnewijkstraat 18, 8530 Harelbeke
PVZG_Chris D'Hondt	Hoekstraat 114, 8300 Knokke-Heist	PVZG00016 Chris D'Hondt	zonne-energie	34	Hoekstraat 114, 8300 Knokke-Heist
PVZG_Geyssen-Willemsse	Bolk 11, 2310 Rijkeworsel	PVZG00023 Geyssen Willemsse	zonne-energie	33,94	Bolk 11, 2310 Rijkeworsel
PVZG_Redevco Retail Belgium	Anspachlaan 1 bus 1, 1000 Brussel	PVZG00063	zonne-energie	114	Kernenergiestraat 60, 2610 Wilrijk
Biogas Boeye	Peirstraat 127, 9120 Beveren-Waas	Biogas Boeye	biogas – overig	1432	Peirstraat 127, 9120 Beveren-Waas
PVZG_OC MW Maldegem	Lazarusbron 1, 9990 Maldegem	PVZG00058 OC MW Maldegem	zonne-energie	117,9	Begijnewater 1, 9990 Maldegem
PVZG_Marc Vereecke	Roesbruggestraat 57a, 8691 Alveringem	PVZG00064	zonne-energie	54	Roesbruggestraat 57a, 8691 Alveringem
PVZG_Hans Catteeu	Hogebrugstraat 48, 8647 Lo-Reninge	PVZG00065	zonne-energie	27	Hogebrugstraat 48, 8647 Lo-Reninge
PVZG_Guy Vandendriessche	Waterstraat 1, 3150 Haacht	PVZG00021	zonne-energie	29,75	Waterstraat 1, 3150 Haacht
PVZG_Joris Van Eynde	Lammerstraat 5, 9120 Vrasene	PVZG00062	zonne-energie	19	Lammerstraat 5, 9120 Vrasene
Laborelec cvba	Rodestraat 125, 1630 Linkebeek	PVZG_Laborelec	zonne-energie	32,59	Rodestraat 125, 1630 Linkebeek
PVZG_Waterhof Gaasbeek	Donkerstraat 8, 1750 Gaasbeek	PVZG00075	zonne-energie	23,75	Donkerstraat 8, 1750 Gaasbeek
PVZG_De Paep Katleen	Plasstraat 1, 9170 Sint-Gillis-Waas	PVZG00068	zonne-energie	27,54	Plasstraat 1, 9170 Sint-Gillis-Waas
PVZG_J. Magnus	Mollenstraat 15, 1785 Brusselsseweg	PVZG00069	zonne-energie	92,82	Mollenstraat 15, 1785 Brusselsseweg
PVZG_Dassenheid e	Steenweg Op Beerse 124, 2330 Merksplas	PVZG00070	zonne-energie	57	Steenweg Op Beerse 124, 2330 Merksplas
PVZG_Interoffice	Luikersteenweg 158, 3700 Tongeren	PVZG00073	zonne-energie	55,77	Prinsenvweg 31, 3700 Tongeren
Goemare – ENECO Energie	Jagerstraat 4A, 8600 Diksmuide	0030 Goemare – Eneco Energie	biogas – overig	378	Jagerstraat 4A, 8600 Diksmuide
Electrabel Green Projects Flanders (EGPF)	Regentlaan 8, 1000 Brussel	EGPF BASF Wind	windenergie op land	12000	Haven 725, Scheldelaan 600, 2040 Antwerpen
PVZG_VMMA	Mediatlaan 1, 1800 Vilvoorde	PVZG00103 VMMA	zonne-energie	273	Mediatlaan 1, 1800 Vilvoorde
PVZG_Annick Vangeluwe	Oude Tielstraat 82, 8755 Ruisselede	PVZG00096	zonne-energie	59,67	Zwijngesstraat, 8700 Tielt

LIJST VAN PRODUCTIE-INSTALLATIES DIE BIOMASSA VERBRANDEN

Producent	Adres Producent	Productie-installatie	Technologie	Vermogen [kW]	Adres installatie
PVZG_VERW	Ambachtsweg 11, 2310 Rijkvorsel	PVZG00086	zonne-energie	24	Ambachtsweg 11, 2310 Rijkvorsel
PVZG_Luc Vennens	Portugezenstraat 17, 9150 Kruibeke	PVZG00077	zonne-energie	29,9	Portugezenstraat 17, 9150 Kruibeke
PVZG_Vermeiren-Pelckmans	Pontfontsedijk 22, 2470 Retie	PVZG00078 Vermeiren-Pelckmans	zonne-energie	34,2	Pontfontsedijk 22, 2470 Retie
PVZG_Kerstens Rudolf	Wetschot 40, 2340 Vilmeren	PVZG00079	zonne-energie	27,6	Wetschot 40, 2340 Vilmeren
PVZG_Rifolos bvba	Stationsstraat 74, 9690 Kluisbergen	PVZG00080	zonne-energie	50,47	Stationsstraat 74, 9690 Kluisbergen
PVZG_ACW Limburg	Mgr. Broekxplein 6, 3500 Hasselt	PVZG00081	zonne-energie	34,3	Mgr. Broekxplein 6, 3500 Hasselt
PVZG_Spillebeen	Meensesteenweg 245, 8870 Izegem	PVZG00082	zonne-energie	29,025	Meensesteenweg 245, 8870 Izegem
PVZG_De Vesten bvba ('t Hof van Eden)	kanaalweg 6/1, 2430 Laakdal	PVZG00083	zonne-energie	60	kanaalweg 6, 2430 Laakdal
PVZG_Geert Deceuninck	Oude Lichterveldestraat 69, 8850 Ardooie	PVZG00084	zonne-energie	49,5	Oude Lichterveldestraat 69, 8850 Ardooie
PVZG_Politie Noorderkempen	Vrijheid 13-17, 2320 Hoogstraten	PVZG00076 Politie Noorderkempen	zonne-energie	21	Vrijheid 13-17, 2320 Hoogstraten
PVZG_Maarc Aerts	Voorsteinde 81, 2260 Westerlo	PVZG00071	zonne-energie	23,12	Voorsteinde 81, 2260 Westerlo
PVZG_Luc Borguignons	Hanenstraat 2, 3472 Kersbeek-Miskom	PVZG00085	zonne-energie	138,35	Hanenstraat 2, 3472 Kersbeek-Miskom
PVZG_Vamo BVBA	Ter Poppenweg 9, 8560 Moorsele	PVZG00121	zonne-energie	30	Ter Poppenweg 9, 8560 Moorsele
PVZG_Polypane Glasindustrie nv	Industriepark-Noord 31, 9100 Sint-Niklaas	PVZG00087	zonne-energie	388,8	Nederlandstraat 5, 9140 Temse
Garage Leuris NV	Eikenlei 102, 2960 Brecht	Garage Leuris nv	biomassa uit land- of bosbouw	102	Eikenlei 102, 2960 Brecht
Mirom Roeselare	oostnieuwkerksesteenweg 121, 8800 Roeselare	Mirom	biomassa uit huishoudelijk afval	3100	Oostnieuwkerksesteenweg 121, 8800 Roeselare
PVZG_Stad Hasselt - Stedelijke Uitvoeringsdienst n	Hellebeemden 20 - Industriezone Roode Berg, 3500 Hasselt	PVZG00099	zonne-energie	361	Hellebeemden 20 - Industriezone Roode Berg, 3500 Hasselt
Biofer NV	Hulsbergstraat 19A, 3440 Zoutleeuw	0006 Biofer	biogas - overig	1665	Hulsbergstraat 19A, 3440 Zoutleeuw
PVZG_Enfinity BX Textiles	Henri Lebbeestraat 188, 8790 Waregem	PVZG00102	zonne-energie	118,26	Venecoweg 21, 9810 Nazareth
BioEnergy NV	Ekkelgaarden 16, 3500 Hasselt	BioEnergy NV	biogas - overig	4026	Ekkelgaarden 16, 3500 Hasselt
PVZG_Nijskens Peter	Galgestraat 126, 3803 Kapellen (Antw.)	PVZG00093	zonne-energie	52,48	Galgestraat 126, 3803 Duras
PVZG_Baugniet Stefan	Eskenstraat 40, 3870 Heers	PVZG00094	zonne-energie	40	Eskenstraat 40, 3870 Heers

Producent	Adres Producent	Productie-installatie	Technologie	Vermogen [kW]	Adres installatie
PVZG_DAMM nv	Bruul 84, 2800 Mechelen	PVZG00095	zonne-energie	19,44	Bruul 82-88, 2800 Mechelen
PVZG_Jawi bvba	Nieuwstraat 11, 3212 Pellenberg	PVZG00088	zonne-energie	35,7	Nieuwstraat 11, 3212 Pellenberg
PVZG_Hans Vandewalle	Puttendreef 1, 8740 Pittem	PVZG00089	zonne-energie	57,6	Puttendreef 1, 8740 Pittem
PVZG_Griekens Johan	Voortweg 2a, 3950 Bocholt	PVZG00090	zonne-energie	51	Voortweg 2a, 3950 Bocholt
PVZG_Enfinity Merckx	Derbystraat 295, 9051 Sint-Denijs-Westrem	PVZG00107	zonne-energie	158	Pathoekeweg 122, 8000 Brugge
PVZG_LV Romera-Van Remoortere	Doornstraat 145, 9140 Temse	PVZG00115	zonne-energie	36	Doornstraat 145, 9140 Temse
PVZG_Reynaers Aluminium	Oude Liersebaan 266, 2570 Duffel	PVZG00098	zonne-energie	583,7	Oude Liersebaan 266, 2570 Duffel
PVZG_Pol Steen	Moerstraat 30, 8600 Diksmuide	PVZG00111	zonne-energie	34,4	Moerstraat 30, 8600 Diksmuide
Electrabel Solar Energy	Regentlaan 8, 1000 Brussel	PVZG00149	zonne-energie	770	Industriezone Noord V. Wijngaardveld 1, 9300 Aalst
PVZG_MD Logistics	Daknamstraat 89, 9160 Lokeren	PVZG00091	zonne-energie	548,32	Toekomstlaan 20, 9160 Lokeren
PVZG_Somnis Bedding	Daknamstraat 89, 9160 Lokeren	PVZG00092	zonne-energie	374,56	Daknamstraat 89, 9160 Lokeren
PVZG_Devissscher e Marnick	Kwadestraat 13, 8851 Koolskamp	PVZG00142	zonne-energie	140,4	Kwadestraat 13, 8851 Koolskamp
De Becker Pierstraat	Z4 Broekooi 300, 1730 Asse	De Becker Pierstraat	biomassa uit land- of bosbouw	895	Pierstraat 63, 2840 Reet
PVZG_Limburgse Tuinbouwveiling	Industrieweg 1035, 3540 Herk-De-Stad	PVZG00132	zonne-energie	441	Industrieweg 1035, 3540 Herk-De-Stad
Electrabel Kamp C De Basis	Britselaan 20, 2260 Westerlo	PVZG00171	zonne-energie	16,8	Britselaan 20, 2260 Westerlo
PVZG_VB Renders bvba	Langedreef 34, 2390 Malle	PVZG00097	zonne-energie	30,4	Langedreef 34, 2390 Malle
PVZG_Peter Vermeiren	Heiendweg 12, 2990 Loenhout	PVZG00100	zonne-energie	32,13	Heiendweg 12, 2990 Loenhout
PVZG_Stefaan Gheeraert	Elverdingsweg 35, 8970 Poperinge	PVZG00101	zonne-energie	54	Elverdingsweg 35, 8970 Poperinge
Enbo NV (EcoWatt)	Tienssesteeweg 285, 3010 Kassel-Lo	0013 ENBO Zennegat-Sluis Mechelen	waterkracht	120	Zennegat-Sluis, 2800 Mechelen
Enfinity Lysair	Henri Lebestraat 188, 8790 Waregem	PVZG00197	zonne-energie	300,2	Vlasstraat 13, 8710 Wielsbeke
PVZG_Luc Van Laer	Zwartvenstraat 8, 2310 Rijkvorsel	PVZG00120	zonne-energie	33,2	Zwartvenstraat 8, 2310 Rijkvorsel
PVZG_Alfacam	Fabriekstraat 38, 2547 Lint	PVZG00141	zonne-energie	317	Fabriekstraat 38, 2547 Lint
PVZG_Friso Bruurs	De Lusthoven, 2370 Arendonk	PVZG00130	zonne-energie	42	De Lusthoven, 2370 Arendonk
PVZG_Alboda nv	Rijksweg 14, 2880 Bornem	PVZG00108	zonne-energie	69,66	Rijksweg 14, 2880 Bornem
PVZG_Vanderostij ne	Groenendijkstraat 24, 9960 Assenede	PVZG00109	zonne-energie	53,1	Groenendijkstraat 24, 9960 Assenede

Producent	Adres Producent	Productie-installatie	Technologie	Vermogen [kW <sub>e</sub> ]	Adres installatie
PVZG_Marc Neiryneck	Drogenbroodstraat 50, 8740 Pittem	PVZG00104	zonne-energie	45,92	Drogenbroodstraat 50, 8740 Pittem
PVZG_Verheyen Schoofs	Eindepoel 18, 2330 Merksplas	PVZG00105	zonne-energie	72	Eindepoel 18, 2330 Merksplas
PVZG_Infinity Gero Paints	Henri Iebbestraat 188, 8790 Waregem	PVZG00106	zonne-energie	91	Populierstraat 3, 8800 Roeselare
PVZG_WDP (Caterpillar)	Blakenberg 15, 1861 Wolvertem	PVZG00110	zonne-energie	571,52	Industrieweg 16, 1850 Grimbergen
PV_Supra Center NV	Oostlaan 9, 8560 Gullegem	PVZG00135	zonne-energie	209	Oostlaan 9, 8560 Gullegem
STORG bvba	Peersdijk 3, 3530 Helchteren	Storg	biomassa uit land- of bosbouw	2000	Peersdijk 3, 3530 Helchteren
PVZG_Alex Moeyts	Nijvelsebaan 215, 3060 Korbek-Dijle	PVZG00126	zonne-energie	54,15	Nijvelsebaan 215, 3060 Korbek-Dijle
PVZG_Sol d'or Handling (vinaflood)	Krijtersveld 5, 2160 Wommelgem	PVZG00123	zonne-energie	235,8	Krijtersveld 5, 2160 Wommelgem
D'teteren NV	Maltestraat 50, 1050 Brussel	PVZG00153	zonne-energie	300	Leuvensesteenweg 326, 1932 Sint-Stevens-Woluwe
PVZG_Francis Van Sande	Kloosterstraat 24, 2960 Sint-Lenaarts	PVZG00127	zonne-energie	22,95	Kloosterstraat 24, 2960 Sint-Lenaarts
PVZG_Kris Claes	Tipstraat 11, 2480 Dessel	PVZG00129	zonne-energie	89,7	Tipstraat 11, 2480 Dessel
PVZG_Guido Sels	Bosstraat 10, 2380 Ravels	PVZG00119	zonne-energie	25,2	Bosstraat 10, 2380 Ravels
Willy Bauwens	Kloosterstraat 92, 9340 Lede	0014 Willy Bauwens Waterkracht	waterkracht	5	Kloosterstraat 92, 9340 Lede
PVZG_Gemeenteb estuur Spiere-Helkijn	Oudenaardseweg 71, 8587 Spiere-Helkijn/Espierres-Helchin	PVZG00124	zonne-energie	45,8	Oudenaardseweg 71, 8587 Spiere-Helkijn/Espierres-Helchin
PVZG_Bruneel-Cox BVBA	Brandakkers 4, 2310 Rijkevorsel	PVZG00125	zonne-energie	75,06	Brandakkers 4, 2310 Rijkevorsel
PVZG_Eddy D'Heygere	Hulstweg 5, 8570 Ingootgem	PVZG00116	zonne-energie	47,3	Hulstweg 5, 8570 Ingootgem
PVZG_Patrick Packet	Roeselarestraat 123, 8600 Esen	PVZG00117	zonne-energie	36	Roeselarestraat 123, 8600 Esen
PVZG_Eduard Hendriks	Tussenstraat 7, 3910 Neerpelt	PVZG00118	zonne-energie	31,7	Wintertijkweg 55, 3950 Borcholt
PV_Dirk Van Looveren	Bolksewijk 22, 2310 Rijkevorsel	PVZG00128	zonne-energie	33,2	Bolksewijk 22, 2310 Rijkevorsel
PVZG_Agro De Gaai BVBA	Gaaistraat 1, 8540 Deertijk	PVZG00112	zonne-energie	24,9	Gaaistraat 1, 8540 Deertijk
PVZG_Herachma NV	Kolmen 27, 3980 Tessenderlo	PVZG00113	zonne-energie	22,94	Kolmen 27, 3980 Tessenderlo
PVZG_Verhaert & Co	Ter Stratenweg 35, 2520 Oelegem	PVZG00114	zonne-energie	42	Ter Stratenweg 35, 2520 Oelegem
PV_Werito NV	Kasteelstraat 4, 8810 Lichtervelde	PVZG00122	zonne-energie	55,82	Vrijgeweidestraat 30 A, 8755 Ruislede
Jongerentravel nv	Drabstraat 10, 2640 Mortsel	PVZG00212	zonne-energie	21	Drabstraat 10, 2640 Mortsel
PVZG_Marmix Baert	Vierkeersstraat 158, 8551 Heestert	PVZG00131	zonne-energie	108	Vierkeersstraat 158, 8551 Heestert

Producent	Adres Producent	Productie-installatie	Technologie	Vermogen [kW]	Adres installatie
Ivaco cvba	Muizeveld 7, 8480 Ichtegem	Ivaco KZ0	biomassa uit land- of bosbouw	131	Bazelaar 1, 8470 Gistel
PVZG_Dirk Kerckaert	Beernemsteenweg 23, 8750 Wingene	PVZG00138	zonne-energie	48	Beernemsteenweg 23, 8750 Wingene
PVZG_Joos Cokelaere	Slingerstraat 62, 8930 Menen	PVZG00137	zonne-energie	117	Slingerstraat 62, 8930 Menen
PVZG_Redelij Ringoot NV	Metropoolstraat 1, 2900 Schoten	PVZG00139	zonne-energie	90,2	Metropoolstraat 1, 2900 Schoten
PVZG_Peter Hannon	Driepikkel 1, 1500 Halle	PVZG00140	zonne-energie	65,85	Driepikkel 1, 1500 Halle
PVZG_Eurotrade bvba	Hoek 63a, 2460 Tielen	PVZG00133	zonne-energie	95,04	Hoek 63a, 2460 Tielen
PVZG_Steven Lateur	Ellestraat 27, 8550 Zwevegem	PVZG00134	zonne-energie	69,55	Ellestraat 27, 8550 Zwevegem
PVZG_Hammes Hoevevlees	Moerheide 177, 9220 Hamme (O.-VL)	PVZG00136	zonne-energie	27	Moerheide 177, 9220 Hamme (O.-VL)
Electrabel Green Projects Flanders (EGPF)	Regentlaan 8, 1000 Brussel	EGPF Izegem Wind	windenergie op land	4000	Lodewijk De Raetlaan 24, 8870 Izegem
Agrikracht nv	Dulle-Grietlaan 17/9, 9050 Gentbrugge	Agrikracht nv	biogas – overig	835	Galgestraat 16, 8800 Rumbekke
Pieters Plant Production	Schierveldestraat 14, 8840 Oostnieuwkerke	PVZG00144	zonne-energie	136,56	Schierveldestraat 14, 8840 Oostnieuwkerke
PVZG_Gediflora/Pi eters Plant Production	Schierveldestraat 14, 8840 kapellen (Antw.)	PVZG00144 Gediflora	zonne-energie	136,56	Schierveldestraat 14, 8840 Oostnieuwkerke
Massonet LV	Kermielerweg 37, 3840 Borgloon	PVZG00173	zonne-energie	165	Kermielerweg 37, 3840 Borgloon
PVZG_Marpa BVBA	Bouwhoef 6a, 2323 Wortel	PVZG00156	zonne-energie	101	Bouwhoef 6a, 2320 Hoogstraten
Vleemo NV	Medialaan 34, 1800 Vilvoorde	0040 Vleemo Oude Dijkweg	windenergie op land	6000	Oude Dijkweg 3-4, 2040 Antwerpen
Etn. Fr. Colruyt NV	Edingensesteenweg 196, 1500 Halle	PVZG00150 Alsemberg	zonne-energie	55	Brusselsesteenweg 17, 1652 Alsemberg
PVZG_Geert De Vlamynck	Drogenbroodstraat 56, 8740 Pitttem	PVZG00146	zonne-energie	30	Drogenbroodstraat 56, 8740 Pitttem
PVZG_Goodwillkar ting	Hoogbuil 47, 2250 Olen	PVZG00147	zonne-energie	24	Hoogbuil 47, 2250 Olen
PVZG_Alfa Bouw nv	Ondememerstraat 4, 3930 Hamont-Achel	PVZG00143	zonne-energie	24,99	Ondememerstraat 4, 3930 Hamont-Achel
PVZG_Eduard Hendrikk	Tussenstraat 7, 3910 Neerpelt	PVZG00151	zonne-energie	31,7	Tussenstraat 7, 3910 Neerpelt
PVZG_Interoffice	Luikersteenweg 158, 3700 Tongeren	PVZG00152 Interoffice Luikersteenweg	zonne-energie	56	Luikersteenweg 158, 3700 Tongeren
PVZG_Omtec nv	Zoomstraat 9, 9160 Lokeren	PVZG00145	zonne-energie	2,40	Zoomstraat 9, 9160 Lokeren
BI07 nv	Berkenrijs 6, 2310 Rijkevorsel	BI07 Biogas	biogas – overig	1416	Berkenrijs 6, 2310 Rijkevorsel
Van Cauwenberge NV	Industrielaan 25, 9620 Zottegem	PVZG00217	zonne-energie	408	Industrielaan 12, 9620 Zottegem



LIJST VAN PRODUCTIE-INSTALLATIES DIE BIOMASSA VERBRANDEN

Producent	Adres Producent	Productie-installatie	Technologie	Vermogen [kW]	Adres installatie
Vleemo NV	Medialaan 34, 1800 Vilvoorde	0041 Vleemo Scheldelaan	windenergie op land	2000	Scheldelaan, 2040 Antwerpen
PVZG_Kerckaert	Morellestraat 2, 8750 Wingene	PVZG00157	zonne-energie	50,1	Morellestraat 2, 8750 Wingene
PVZG_OC MW Middelkerke	Sluisvaartsstraat 17, 8430 Middelkerke	PVZG00148	zonne-energie	42	Sluisvaartsstraat 17, 8430 Middelkerke
De Becker Electrogroep	Breker 13, 1730 Asele	Alex Baelus Palmolie	biomassa uit land- of bosbouw	1790	Brenstraat 35, 2500 Lier
PVZG_Veys Processing	Rapetstraat 110, 8940 Wervik	PVZG00155	zonne-energie	94,8	Rapetstraat 110, 8940 Wervik
PVZG_Malcosort bvba	De Locht 11, 3700 Tongeren	PVZG00154	zonne-energie	56	De Locht 11, 3700 Tongeren
PVZG_Maatregel BVBA	Mijnwerkerslaan 21, 3550 Heusden-Zolder	PVZG00158	zonne-energie	25	Mijnwerkerslaan 21, 3550 Heusden-Zolder
PVZG_Van Cauwenberghe	Kleistraat 3, 9790 Wortegem	PVZG00159	zonne-energie	54	Kleistraat 3, 9790 Wortegem
PVZG_Ernst & Young bedrijfsrevisoren	De Kleetlaan 2, 1831 Diegem	PVZG00160	zonne-energie	36	De Kleetlaan 2, 1831 Diegem
PVZG_Boomkwek erij Coppens	Ertburg 10, 9230 Wetteren	PVZG00161	zonne-energie	30	Ertburg 10, 9230 Wetteren
Poultry Farms BVBA	Roerdomstraat 1A, 2440 Geel	PVZG00162 Poultry Farms BVBA	zonne-energie	49,4	Roerdomstraat 1A, 2440 Geel
Noordvees-Van Gool	Bloemenstraat 56, 2920 Kalmthout	PVZG00178	zonne-energie	150	Bloemenstraat 56, 2920 Kalmthout
Saey NV	Industrielaan 4, 8501 Heule	PVZG00163	zonne-energie	369,1	Scheldekanaaltrangel 1, 9052 Zwijnaarde
Comacc Solar	Anton Philipsweg 2, 3920 Lommel	PVZG00205	zonne-energie	1929	Anton Philipsweg 2, 3920 Lommel
Sarens Johan (Versalof)	Eshagestraat 13, 1840 Steenhuffel	PVZG00181	zonne-energie	42,3	Eshagestraat 13, 1840 Steenhuffel
Pieter Van Dooren	Wissenbeemd 9, 3460 Assent	PVZG00190	zonne-energie	136,74	Wissenbeemd 9, 3460 Assent
Nv Jumi plastics Belgium	Katteweidelaan 39, 3590 Diepenbeek	PVZG00175	zonne-energie	343,37	Katteweidelaan 39, 3590 Diepenbeek
Valmass	West-Vleterenstraat 25 A, 8640 Westvleteren	Valmass Biogas	biogas – overig	1666	West-Vleterenstraat 25 A, 8640 Westvleteren
Gabriels Karel BVBA	Antwerpssteenweg 51, 2390 Oostmalle	PVZG00170 Gabriels Karel BVBA	zonne-energie	40,55	Antwerpssteenweg 51, 2390 Oostmalle
Jaddoul BVBA	Hoogstraat 34, 3890 Gingelom	PVZG00165	zonne-energie	114	Hoogstraat 34, 3890 Gingelom
WDP Willebroek	Blakenberg 15, 1861 Wolvertem	PVZG00193	zonne-energie	765	Koning Astridlaan 14, 2830 Willebroek
Mireille Fraeyman	Poekestraat 79, 8755 Ruselede	PVZG00166 Mireille Fraeyman	zonne-energie	28	Poekestraat 79, 8755 Ruselede
Paul Dewitte	Kazandstraat 5, 8740 Pittem	PVZG00167 Paul Dewitte	zonne-energie	28,08	Kazandstraat 5, 8740 Pittem

Producent	Adres Producent	Productie-installatie	Technologie	Vermogen [kW]	Adres installatie
Tanghe Jan	Pietakkerstraat 2, 8755 Ruiselede	PVZG00168 Tanghe Jan	zonne-energie	60	Pietakkerstraat 2, 8755 Ruiselede
Willemsen General Contractor NV	Boerenkrijgstraat 133, 2800 Mechelen	PVZG00169 Willemsen General Contractor NV	zonne-energie	32,75	Boerenkrijgstraat 133, 2800 Mechelen
Frank Daeninck (Sint-Donaashoeve)	Fort Sint Donaas 1, 8340 Damme	PVZG00164	zonne-energie	24	Fort Sint Donaas 1, 8340 Damme
Laborelec cvba	Rodestraat 125, 1630 Linkebeek	Laborelec Wind	windenergie op land	11	Rodestraat 125, 1630 Linkebeek
Muto Vzw	Antwerpsesteenweg 261, 2800 Mechelen	PVZG00179	zonne-energie	135	Antwerpsesteenweg 261, 2800 Mechelen
Apotheek De Lindeboom	Antwerpsesteenweg 259, 2800 Mechelen	PVZG00222	zonne-energie	30,8	Antwerpsesteenweg 259, 2800 Mechelen
VC Energy bvba	Moerstraat 30, 9800 Deinze	VC Energy Biogas	biogas – overig	1131	Moerstraat 30, 9800 Deinze
Nico Wauters	Valgaerstraat 15, 3724 Vliermaal	Nico Wauters	biogas – overig	1065	Coutjoulstraat, 3724 Vliermaal
VZW Kasog	Mosselerlaan 110, 3600 Genk	PVZG00177	zonne-energie	22,8	Mosselerlaan 110, 3600 Genk
LV Laurijssen-Stessens	Watering 12, 2370 Arendonk	PVZG00180	zonne-energie	26,4	Watering 12, 2370 Arendonk
Jos Maltcorps	De Locht 9, 3700 Tongeren	PVZG00176	zonne-energie	18,82	De Locht 9, 3700 Tongeren
Zap Productions	Koning Albertlaan 163, 9080 Lochristi	PVZG00172	zonne-energie	16,93	Koning Albertlaan 163, 9080 Lochristi
Quirijnen Energy Farming	Koekhoven 44 a, 2330 Merksplas	Quirijnen Biogas	biogas – overig	2218	Koekhoven 44 a, 2330 Merksplas
Belpower Beverenstraat	Vilvoordseleaan 200, 1000 Brussel	PVZG00182	zonne-energie	45	Beverenstraat 16 A, 8810 Lichtervelde
Van Snick Gaby	Sint Norbertusstraat 166, 3400 Landen	PVZG00183	zonne-energie	27	Sint Norbertusstraat 166, 3400 Landen
Marynissen	Beekakker 9a, 2321 Meer	PVZG00184	zonne-energie	25	Beekakker 9a, 2321 Meer
Jejo BVBA	Bottenhoef 15, 2440 Geel	PVZG00185	zonne-energie	40	Bottenhoef 15, 2440 Geel
Pluvamec	Kleine Heerestraat 9, 2360 Oud-Turnhout	PVZG00186 Pluvamec Kleine Heerestraat	zonne-energie	58,5	Kleine Heerestraat 9, 2360 Oud-Turnhout
Infinity Weba	Henri Lebbestraat 188, 8790 Waregem	PVZG00196	zonne-energie	96	Vliegtuiglaan 10, 9000 Gent
Infinity Desmet Engineering	Henri Lebbestraat 188, 8790 Waregem	PVZG00195	zonne-energie	58,8	Wielbeeksestraat 65, 8710 Ooigem
Stefaan Devos	Wijndriesstraat 12, 3460 Bekkevoort	PVZG00225	zonne-energie	189	Wijndriesstraat 12, 3460 Bekkevoort
Nicolai Martleen (Hannosset)	Nachtegaal 2, 3800 Sint-Truiden	PVZG00191	zonne-energie	42	Nachtegaal 2, 3800 Sint-Truiden
ARCOR	Ninovestraat 106, 9600 Ronse/Renaix	PVZG00210	zonne-energie	262	Ninovestraat 106, 9600 Ronse/Renaix
NV Zonnecentrale Limburg	Ekkelgaarden 16, 3500 Hasselt	PVZG00226	zonne-energie	4704	Terrillaan Z/N, 3550 Heusden-Zolder
JBC	Centrum Zuid 2080, 3530 Houthalen	PVZG00216	zonne-energie	447	Centrum Zuid 3405, 3530 Houthalen
Infinity Eurogifts	Henri Lebbestraat 188, 8790 Waregem	PVZG00200	zonne-energie	98	Hoogweg 38, 8940 Wervik

Producent	Adres Producent	Productie-installatie	Technologie	Vermogen [kW]	Adres installatie
Infinity Oranije Drukkerij	Henri Lebbestraat 188, 8790 Waregem	PVZG00201	zonne-energie	48	Vlasstraat 17, 8710 Wielsbeke
Erik Klaasen	Steenweg op Zondereigen 138, 2300 Turnhout	PVZG00202	zonne-energie	60,8	Steenweg op Zondereigen 138, 2300 Turnhout
Vorsellmans NV	Wuustwezelweg 95, 2990 Loenhout	PVZG00203	zonne-energie	30	Wuustwezelweg 95, 2990 Loenhout
Esler Clemens	Herkenrodestraat 42, 3870 Opheers	PVZG00204	zonne-energie	52	Herkenrodestraat 42, 3870 Opheers
PCG	Karreweg 6, 9770 Kruishoutem	PVZG00198	zonne-energie	34	Karreweg 6, 9770 Kruishoutem
Verheyen Koen bvba	Lievekenshoek 4, 2330 Merksplas	PVZG00199	zonne-energie	45,6	Lievekenshoek 4, 2330 Merksplas
Kruidenterszaak De Nieuwdonk	Burgemeester De Lausnaystraat 25, 9290 Overmere	PVZG00206	zonne-energie	12,54	Burgemeester De Lausnaystraat 25, 9290 Overmere
Ivo Conings Piggery	Weg Naar Geneuth 100, 3630 Maasmechelen	PVZG00207	zonne-energie	21,12	Weg Naar Geneuth 100, 3630 Maasmechelen
Van Gastel – AVEVE	Hoogstraatsbaan 128 B, 2960 Sint-Lenaarts	PVZG00208	zonne-energie	18,9	Hoogstraatsbaan 128 B, 2960 Sint-Lenaarts
De Wolfsputte	Steenweg op Beerse 153, 2330 Merksplas	PVZG00209	zonne-energie	66	Steenweg op Beerse 153, 2330 Merksplas
Woonbedrijf Menen	Grote Markt 1, 8930 Menen	PVZG00192	zonne-energie	57,3	Sluizenkaai 78, 8930 Menen
Mark Lemmens bvba	Hoverstraat 8A, 3640 Kimrooi	PVZG00194	zonne-energie	36,3	Hoverstraat 8A, 3640 Kimrooi
Pluvamec	Kleine Heerestraat 9, 2360 Oud-Turnhout	PVZG00188 Pluvamec Leiseinde	zonne-energie	39	Leiseinde 66, 2360 Oud-Turnhout
Eddy Decoster	Bosstraat 169, 3060 Bertem	PVZG00187	zonne-energie	26,55	Bosstraat 169, 3060 Bertem
Joost Overstijns	Oplintersesteenweg 16, 3380 Bunsbeek	PVZG00189 Joost Overstijns	zonne-energie	79,8	Oplintersesteenweg 16, 3380 Bunsbeek
Martain-Van de Steene	Keibosstraat 3, 8700 Aarsele	PVZG00228	zonne-energie	102	Keibosstraat 3, 8700 Aarsele
Fieva McBride	Henri Lebbestraat 188, 8790 Waregem	PVZG00223 Enfinity & Fieva-McBride	zonne-energie	814	Paddevijverstraat 49, 8900 Ieper
ING Equipment Lease	Kolonel Bourgstraat 155, 1000 Brussel	PVZG00231	zonne-energie	600	Grijpenlaan 11, 3300 Tiemen
PVZG_Invictus	Terbekehofdreef 66, 2610 Wilrijk	PVZG00232	zonne-energie	453	Belcrownlaan 23, 2100 Durne
Bart Hellemans	Wilsonstraat 63, 2860 Sint-katelijne-Waver	PVZG00229	zonne-energie	30	Wilsonstraat 63, 2860 Sint-katelijne-Waver
Meubelen Neven NV	Nieuwstraat 170, 3590 Diepenbeek	PVZG00213	zonne-energie	70,5	Nieuwstraat 170, 3590 Diepenbeek
Patrick Devroe	Rodepoortstraat 16, 8850 Ardooie	PVZG00214	zonne-energie	39,2	Rodepoortstraat 16, 8850 Ardooie
De Zwaan bvba	Begoniastraat 9, 9810 Eke	PVZG00215	zonne-energie	92,5	Begoniastraat 30, 9810 Eke

Producent	Adres Producent	Productie-installatie	Technologie	Vermogen [kW]	Adres installatie
Agref NV	Tragelweg 4, 9230 Wetteren	PVZG00218	zonne-energie	47	Tragelweg 4, 9230 Wetteren
Gemeenschapshuis de Corren	Frachtenlaan 24a, 1820 Steenokkerzeel	PVZG00219	zonne-energie	12	Frachtenlaan 24a, 1820 Steenokkerzeel
Gemeentehuis Steenokkerzeel	Ochideënlaan 17, 1820 Steenokkerzeel	PVZG00220	zonne-energie	19,95	Ochideënlaan 17, 1820 Steenokkerzeel
Basissschool De Piramide	Mulslaan 2, 1820 Steenokkerzeel	PVZG00221	zonne-energie	24	Mulslaan 2, 1820 Steenokkerzeel
Goemaere-Eneco Energie	Jagerstraat 4A, 8600 Diksmuide	PVZG00211	zonne-energie	30	Jagerstraat 4A, 8600 Diksmuide
Vrienden van de Molen	Molenhoek 14, 9620 Zottegem	Vrienden van de Molen	waterkracht	4	Molenhoek 14, 9620 Zottegem
Coenco bvba	Kanaalstraat 6, 8020 Oostkamp	Coenco Wind	windenergie op land	2,5	Kanaalstraat 6, 8020 Oostkamp
Hugo Senesael	Hoogstadestraat 6, 8690 Alveringem	Senesael PPO	biomassa uit land- of bosbouw	5,5	Hoogstadestraat 6, 8690 Alveringem
United Brands NV	Leiestraat 70A, 2860 Sint-Katelijne-Waver	PVZG00224	zonne-energie	63	Leiestraat 70A, 2860 Sint-Katelijne-Waver
PVZG_Enfinity Lava	Henri Lebbestraat 188, 8790 Waregem	PVZG00234	zonne-energie	104	Rijksweg 138, 8710 Wielsbeke
Recreatieoord Wilhelm Tell	Hoeverweg 87, 3660 Opglabbeek	PVZG00230	zonne-energie	25	Hoeverweg 87, 3660 Opglabbeek
PVZ_Herman Vergucht	Bogaert 93, 9260 Wichelen	Wind Vergucht Herman	windenergie op land	2,4	Bogaert 93, 9260 Wichelen
PVZG_Enfinity TRD	Henri Lebbestraat 188, 8790 Waregem	PVZG00235	zonne-energie	120	Kruisboommolendestraat 628, 8800 Rumbek
Addis NV	Processieweg 1, 2840 Reet	PVZG00227	zonne-energie	84	Processieweg 1, 2840 Reet
PVZG_FGII Aartselaar	Kontichsesteenweg 25, 2630 Aartselaar	PVZG00236	zonne-energie	19	Kontichsesteenweg 25, 2630 Aartselaar
PVZG_Vermander e Guido	Schaapsbrugstraat 2a, 8750 Zwevezele	PVZG00237	zonne-energie	22	Schaapsbrugstraat 2a, 8750 Zwevezele
PVZG_Koen Bossuyt	Waterhuisjestraat 3, 8690 Alveringem	PVZG00233	zonne-energie	50	Waterhuisjestraat 3, 8690 Alveringem

**Bijlage 3****BEREKENINGEN****A. Berekening NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub> emissies voor vaste hernieuwbare brandstoffen**

In dit deel van deze bijlage worden in opeenvolgende tabellen de resultaten van de emissieberekeningen gepresenteerd.

Voor de volgende brandstoffen zijn berekeningen uitgevoerd:

- onbehandeld hout
- PF spaanplaat
- UF spaanplaat
- MDI spaanplaat
- stro
- gras
- bermgras
- diermeel
- mest
- RWZI slib

**Uitgangspunten berekeningen:****NO<sub>x</sub>-emissies:**

- *gebruik empirische formules (afgeleid uit houtverbranding):*

- omzettingpercentage brandstofgebonden N naar brandstof NO<sub>x</sub>-emissies:

$$'N/NO_x' = 0,133 \times ('N \text{ gew.}\%') - 0,4905 \text{ (zie Figuur 24)}$$

Dit omzettingpercentage houdt reeds rekening met een optimale verbranding met inzet van getrapte verbranding.

- NO<sub>x</sub>-emissies in mg/kg brandstof:

$$'NO_x \text{ (mg/kg brandstof)}' = 'N \text{ gew.}\%' \times 'N/NO_x' \times 10000 \times 'molmassa NO_x/N (=46/14)'$$

- NO<sub>x</sub>-emissies in mg/Nm<sup>3</sup>

$$'NO_x\text{-emissies (mg/Nm}^3)' = NO_x \text{ (mg/kg brandstof)} / 'rookgasdebiet' \text{ (Nm}^3\text{/kg brandstof)}$$

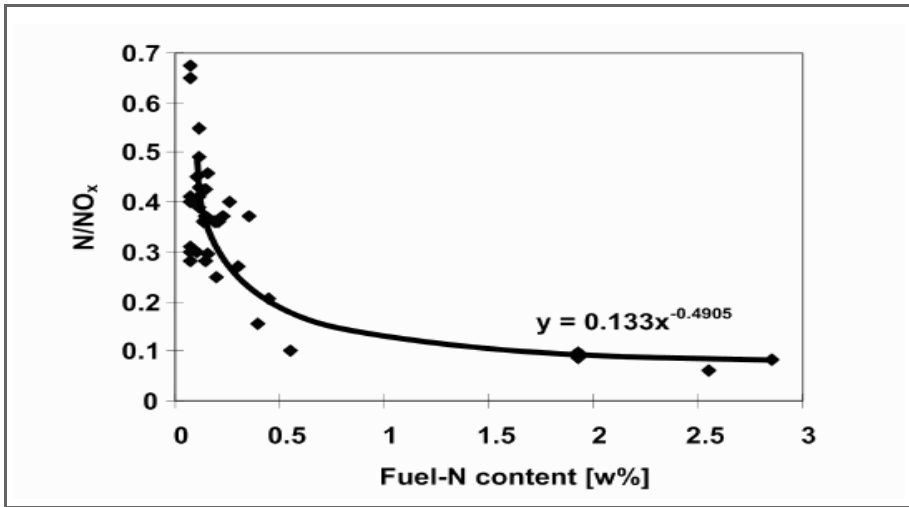
met rookgasdebiet:

$$'rookgasdebiet \text{ (Nm}^3\text{/kg)}' = (\lambda - 1) \times L_{v,t} + R_{v,t}$$

met  $\lambda$  = luchtfactor  
=  $21 / (21 - \text{ref. zuurstof}\%) - 1$

$L_{v,t}$  = stoichiometrisch luchtvolume per kg brandstof  
=  $0,94/1000 \times 239 \times \text{stookwaarde} + 0,5$

$R_{v,t}$  = stoichiometrisch rookgasvolume per kg brandstof  
=  $0,83/1000 \times 239 \times \text{stookwaarde} + 1,65$



**Figuur 24:** Fractie van de brandstofgebonden N die wordt omgezet tot NO<sub>x</sub> in functie van het N-gehalte van de brandstof (S. Van Loo en J. Koppejan; 2007)

- omrekening mg/Nm<sup>3</sup> rookgas naar mg/MJ  
 'NO<sub>x</sub>-emissies (mg/MJ)' = 'NO<sub>x</sub>-emissies (mg/Nm<sup>3</sup>)' × 'rookgasdebiet (Nm<sup>3</sup>/kg)' /  
 'stookwaarde brandstof (MJ/kg)'

met 'stookwaarde brandstof':

- hout: 16 MJ/kg
- slib: 10 MJ/kg
- mest: 17 MJ/kg
- diermeel: 18 MJ/kg
- grasachtige: 17,8 MJ/kg

**SO<sub>2</sub>-emissies:**

– gebruik formules:

- omzetting brandstofgebonden S naar SO<sub>2</sub>-emissies:  
 'SO<sub>2</sub> (mg/kg brandstof)' = 'S gew.%' × 'S/SO<sub>2</sub>' × 10000 × 'molmassa SO<sub>2</sub>/S (= 64/32)'  
 met 'S/SO<sub>2</sub>' = 60% (zie § 3.7.1.3)
- voor omzetting NO<sub>x</sub>-emissies van mg/kg brandstof naar mg/Nm<sup>3</sup> rookgas of mg/MJ zie berekeningswijzen onder bovenstaande paragraaf 'NO<sub>x</sub>-emissies'

Voor de gedetailleerde resultaten van deze berekeningen verwijzen we naar de documenten op de EMIS-website: <http://www.emis.vito.be/index.cfm?PageID=592>

**NO<sub>x</sub>-emissies:** berekening NO<sub>x</sub> emissies

**SO<sub>2</sub>-emissies:** berekening SO<sub>2</sub> emissies

## B. Kostenberekeningen verbranding

In dit deel van deze bijlage worden in opeenvolgende tabellen de resultaten van de kostenberekeningen gepresenteerd.

Voor de volgende brandstoffen zijn berekeningen uitgevoerd:

- onbehandeld hout
- PF spaanplaat
- UF spaanplaat
- MDI spaanplaat
- stro
- gras
- bermgras
- diermeel
- mest
- RWZI slib
- vloeibare brandstoffen in stookinstallaties
- vloeibare brandstoffen in dieselmotoren
- gasvormige brandstoffen in gasmotoren
- gasvormige brandstoffen in gasturbines

Voor vaste hernieuwbare fracties werden maatregelen voor NO<sub>x</sub> en stof uitgerekend, en voor een aantal vaste fracties ook SO<sub>2</sub> maatregelen.

Voor vloeibare en gasvormige hernieuwbare brandstoffen werden enkel de NO<sub>x</sub> maatregelen uitgewerkt.

### *Aannames berekeningen*

- De gehanteerde reductiepercentages zijn overgenomen uit de gerelateerde BBT studies: BBT stookinstallaties en motoren, BBT voor glastuinbouw en BAT reference document for large combustion plants (LCP BREF, ANN., juni 2006). Voor SCR en SNCR wordt een toenemend reductierendement met toenemend vermogen van de installaties (betere controlemogelijkheden en meer continue belasting) gebruikt.
- De investeringskosten voor kleine en middelgrote installaties zijn afkomstig van leden van het begeleidingscomité en informatie uit de Vlaamse sectorstudies (<http://www.lne.be/themas/luchtverontreiniging/informatie-studies>). Voor grote installaties zijn de prijzen afgetoetst met de LCP BREF (ANN., 2006).
- De werkingskosten zijn enerzijds afgeleid van de investeringskosten, m.n. 5% van de investeringskost (zoals in andere gerelateerde studies gehanteerd). Anderzijds zijn voor SCR en SNCR ook de kosten voor de gebruikte additieven elektriciteit, personeel meegerekend, berekend op basis van een vaste kost hoeveelheid per ton NO<sub>x</sub> verwijderd m.n. 950 €/ton NO<sub>x</sub> voor SNCR en 2250€/ton NO<sub>x</sub> voor SCR.

Hierbij kan algemeen opgemerkt worden dat zowel de investeringskost, de operationele kost als het rendement afhankelijk zijn van een hele reeks site-specifieke factoren. Naast het debiet en de concentratie van de afgasstroom en het al dan niet continue karakter, zijn bijvoorbeeld ook de temperatuur en de druk van de afgasstroom belangrijk met betrekking tot kost en rendement. Daarnaast zijn ook de materiaalvereisten en de ontwerpcodes belangrijke kostfactoren. Ook de locatie kan de kost significant beïnvloeden. Tenslotte dient rekening gehouden met mogelijke

veiligheidsrisico's, de beschikbaarheid van nutsvoorzieningen en de beschikbaarheid en de mogelijkheden tot verwerking van hulpstoffen.

Met name voor bestaande installaties zullen de installatiekosten van de techniek een grote invloed hebben op de totale investeringskost. Deze verschillen sterk van installatie tot installatie. De installatiekosten voor retrofittoepassingen worden ingeschat op 2-4 keer de apparatuurkosten (zie ook punt C. van deze bijlage).

Daar de meeste van deze factoren niet gekend zijn en een individuele benadering van de verschillende installaties niet mogelijk is, is het duidelijk dat de gerapporteerde kosten en rendementen enkel een indicatief karakter hebben.

**Berekeningen in onderstaande tabellen zijn als volgt uitgevoerd:**

Kolom 1 = maatregel die toegepast kan worden op de installatie

Kolom 2 = verwijderingsefficiëntie van de maatregel in %

Kolom 3 = concentratie van de pollutant in mg/Nm<sup>3</sup> bij 6% O<sub>2</sub> voor vaste brandstoffen in stookinstallaties, 3% voor vloeibare brandstoffen in stookinstallaties en 15% voor vloeibare brandstoffen in dieselmotoren en 15% O<sub>2</sub> bij gasvormige brandstoffen in gasturbines

$$E = E_0 - (E_0 \times \text{Kolom 2})$$

met  $E_0$  = emissieconcentratie zonder maatregel toegepast

$E$  = emissieconcentratie met toepassing van maatregel

Kolom 4 = investeringskost in

Kolom 5 = operationele kost in euro/jaar = 5% tot 50% van de investeringskost afhankelijk van de maatregel

Kolom 6 = Totale jaarlijkse kost

$$\text{totale jaarlijkse kost} = C_0 \left( \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \right) + OK$$

met  $C_0$  : investeringskost

$OK$  : de operationele kost

$r$  : rentevoet (= 5%)

$n$  : afschrijvingstermijn (= 10 jaar)

Kolom 7 = rookgasdebiet, droge rook in Nm<sup>3</sup>/jaar

$$q = \frac{P}{278 \times H_0} \times t \times q_r$$

met  $P$  = vermogen in W

$H_0$  = stookwaarde in MJ/kg of MJ/m<sup>3</sup> aardgas

$t$  = bedrijfsuren per jaar

$q_r$  = rookgasdebiet in Nm<sup>3</sup>/kg brandstof of Nm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> aardgas

1 MJ/h = 278 W



Kolom 8 = totale hoeveelheid pollutent geëmitteerd per jaar in ton/jaar

$$kolom\ 8 = \frac{kolom\ 3 \times kolom\ 7}{1000000000}$$

Kolom 9 = kosten effectiviteit in euro per ton pollutent verwijderd

$$kolom\ 9 = \frac{kolom\ 6}{kolom\ 8(\text{geen maatregel}) - kolom\ 8}$$

Voor de gedetailleerde resultaten van deze berekeningen verwijzen we naar de documenten op de EMIS-website: <http://www.emis.vito.be/index.cfm?PageID=592>

*Vaste hernieuwbare brandstoffen:*

NOx: berekening haalbare NOX emissies en kosten vaste hernieuwbare

SO2: berekening haalbare SO2 emissies en kosten vaste hernieuwbare

Stof: berekening haalbare stof emissies en kosten vaste hernieuwbare

*Vloeibare en gasvormige hernieuwbare brandstoffen:*

NOx: berekening haalbare NOX emissies en kosten vloeibare en gasvormige hernieuwbare

## C. De gevoeligheidsanalyse op de kosten-berekeningen

### *Scenario's*

Om de invloed van bovenstaande aannames bij de kostenberekeningen op de kosteneffectiviteit van de milieumaatregelen in te schatten, worden een aantal scenario's opgesteld waarin de gevoeligheid van de resultaten wordt getoetst bij wijziging van de aannames.

#### 1. *Investeringskost*

In eerste instantie wordt bekeken wat het effect is van een zwaardere investeringkost. Zoals reeds eerder aangegeven, zijn de bedragen afkomstig van een beperkt aantal bronnen en moeten ze als indicatief beschouwd worden.

Bovendien wordt de totale jaarlijkse kostprijs van een techniek bepaald door de investeringskost en de operationele kost. De investeringskost bestaat op zijn beurt uit de apparaatrukkost en de installatiekost. De installatiekost is bij bestaande installaties veel groter dan bij nieuwe installaties; het dubbele tot viervoudige van de apparaatrukkost wordt hiervoor vermeld. Deze bijkomende kosten zijn een gevolg van de complexiteit van de installatie welke bepaald wordt door o.a. de aard van de opbouw van de installatie, de beschikbare ruimte, de nodige leidingen en dergelijke.

Er worden berekeningen uitgevoerd waarbij de investeringskost met 10%, 50%, 100%, 150% en 200% toeneemt.

Er wordt aangenomen dat bij nieuwe installaties de investeringskost met ca. 10-50% kan variëren en bij bestaande dit eerder de range 100-200% zal zijn.

#### 2. *Reductierendement*

Ten tweede is het rendement van de milieumaatregelen van belang bij het bepalen van de kosteneffectiviteit. Hoe hoger het rendement, hoe hoger de jaarlijkse emissiereductie en hoe

kleiner de kosteneffectiviteit. De berekeningen worden uitgevoerd met 4 alternatieve reducerendementen voor SNCR en SCR:

- A: 30% SNCR 85% SCR
- B: 40% SNCR 90% SCR
- C: 45% SNCR 95% SCR
- D: 50% SNCR 95% SCR

Het haalbaar rendement is afhankelijk van de installatie: o.a. continu-discontinu verbrandingsproces; de capaciteit; leeftijd; plaats/uitvoering injectielans,....

3. *Draaiuren*

Verder hangt de operationele kost en de totale emissievracht bij stookinstallaties en motoren ook af van het aantal draaiuren van de installatie. Bijkomend wordt aangenomen dat de draaiuren van 1000 tot 6000 uur per jaar kunnen oplopen.

4. *Capaciteit*

Ook de capaciteit heeft een invloed op de totale jaarlijkse kost en de totale emissievracht. Er worden drie verschillende installatiecapaciteiten beschouwd: 1, 5 en 20 MWth.

**Resultaten**

Als voorbeeld worden de kostenberekeningen voor het SNCR en SCR op houtgestookte installaties (m.n. met 0,1; 0,9 en 4 gew.% N) gebruikt.

In onderstaande tabellen wordt ter illustratie een selectie van de resultaten van de verschillende scenario's weergegeven.

**Tabel 105:** *Overzicht van het resultaat van de variatie op de investeringskost op installaties op hout met 0,9 gew.%N, waarbij:*

1. De eerste kolom aangeeft over welk installatie het gaat: capaciteit, draaiuren en deNOx-technieken
2. De tweede kolom geeft het rendement van de deNOx aan (BASIS),
3. De derde tot zesde kolom geeft de resultaten weer waarbij de investeringskost met 10% tot 200% toeneemt;
4. Legende kleurencode:

0-3 €/kg NOx verwijderd
3-5 €/kg NOx verwijderd
5-7 €/kg NOx verwijderd
>7 €/kg NOx verwijderd

		RENDEMENT DENOX vast (BASIS)						
		rendement	investeringskost					
		BASIS	basis	+10%	+50%	+100%	+150%	+200%
<b>1MW</b>								
<b>1000</b>								
OFA	30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
OFA + RGR	10	16,63	18,30	24,95	33,27	41,58	49,90	
OFA + SNCR	30	3,52	3,78	4,81	6,10	7,38	8,67	
OFA + SCR	80	8,40	9,01	11,47	14,55	17,62	20,70	
OFA + RGR + SNCR	37	7,35	8,01	10,64	13,93	17,23	20,52	
OFA + RGR + SCR	82	10,22	11,02	14,24	18,25	22,26	26,28	
<b>2000</b>								
OFA	30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
OFA + RGR	10	8,32	9,15	12,48	16,63	20,79	24,95	
OFA + SNCR	30	2,24	2,37	2,88	3,52	4,17	4,81	
OFA + SCR	80	5,32	5,63	6,86	8,40	9,94	11,47	
OFA + RGR + SNCR	37	4,06	4,39	5,71	7,35	9,00	10,64	
OFA + RGR + SCR	82	6,21	6,61	8,22	10,22	12,23	14,24	
<b>3000</b>								
OFA	30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
OFA + RGR	10	5,54	6,10	8,32	11,09	13,86	16,63	
OFA + SNCR	30	1,81	1,89	2,24	2,67	3,09	3,52	
OFA + SCR	80	4,30	4,50	5,32	6,35	7,37	8,40	
OFA + RGR + SNCR	37	2,96	3,18	4,06	5,16	6,26	7,35	
OFA + RGR + SCR	82	4,87	5,14	6,21	7,55	8,88	10,22	
<b>4000</b>								
OFA	30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
OFA + RGR	10	4,16	4,57	6,24	8,32	10,40	12,48	
OFA + SNCR	30	1,59	1,66	1,92	2,24	2,56	2,88	
OFA + SCR	80	3,79	3,94	4,56	5,32	6,09	6,86	
OFA + RGR + SNCR	37	2,42	2,58	3,24	4,06	4,88	5,71	
OFA + RGR + SCR	82	4,20	4,40	5,21	6,21	7,21	8,22	
<b>5000</b>								
OFA	30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
OFA + RGR	10	3,33	3,66	4,99	6,65	8,32	9,98	
OFA + SNCR	30	1,46	1,52	1,72	1,98	2,24	2,49	
OFA + SCR	80	3,48	3,60	4,09	4,71	5,32	5,94	
OFA + RGR + SNCR	37	2,09	2,22	2,74	3,40	4,06	4,72	
OFA + RGR + SCR	82	3,80	3,96	4,60	5,41	6,21	7,01	
<b>6000</b>								
OFA	30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
OFA + RGR	10	2,77	3,05	4,16	5,54	6,93	8,32	
OFA + SNCR	30	1,38	1,42	1,59	1,81	2,02	2,24	
OFA + SCR	80	3,27	3,38	3,79	4,30	4,81	5,32	
OFA + RGR + SNCR	37	1,87	1,98	2,42	2,96	3,51	4,06	
OFA + RGR + SCR	82	3,53	3,67	4,20	4,87	5,54	6,21	

Deze analyse is ook uitgevoerd op de berekeningen voor stookinstallaties en dieselmotoren op dierlijke en plantaardige vetten, (bio)gasmotoren en (bio)gasbranders.

De impact van wijzigingen in de aannames op het resultaat zijn over het algemeen gelijkaardig als voor stookinstallaties op hout.

Voor de gedetailleerde resultaten van deze berekeningen verwijzen we naar de documenten op de EMIS-website: <http://www.emis.vito.be/index.cfm?PageID=592>

- *Vaste hernieuwbare brandstoffen – deNOx technieken:*
  - gevoeligheidsanalyse vaste hernieuwbare brandstoffen – hout 0,9%N-gehalte
  - gevoeligheidsanalyse vaste hernieuwbare brandstoffen – hout 4%N-gehalte
  - gevoeligheidsanalyse vaste hernieuwbare brandstoffen – hout 0,1%N-gehalte
- *Vloeibare hernieuwbare brandstoffen – deNOx technieken:*
  - gevoeligheidsanalyse vloeibare hernieuwbare brandstoffen – fuel brander
  - gevoeligheidsanalyse vloeibare hernieuwbare brandstoffen – scheepsmotor
- *Gasvormige hernieuwbare brandstoffen – deNOx technieken:*
  - gevoeligheidsanalyse gasvormige hernieuwbare brandstoffen – gasbrander
  - gevoeligheidsanalyse gasvormige hernieuwbare brandstoffen – gasmotor

De conclusies worden in onderstaande paragraaf aangegeven.

## **Besluit**

### ***Algemene analyse kost versus rendement***

Uit de analyse van de verschillende scenario's blijkt dat de kost de meest bepalende factor is in het al dan niet kosteneffectief zijn van een bepaalde techniek. Dit wil zeggen dat fouten in de aannames van de kosten tot grotere fouten zal leiden op de BBT-conclusies op sectorniveau.

Een variatie van de investeringskost met 100%, geeft over het algemeen een verschuiving in het resultaat (zie bovenstaande tabel, omslag kleur vanaf kolom +100%).

Voor bestaande installaties wordt door de operatoren aangegeven dat bij retrofit-toepassingen de investeringskosten sterk kunnen variëren van installatie tot installatie. De totale investeringskost wordt hier grotendeels bepaald door de complexiteit van de installatie van de apparatuur. Een meerprijs van 100 tot 200% worden hierbij aangegeven t.o.v. nieuwe installaties. Omwille van deze grote variatiemogelijkheid op de kosten bij bestaande installaties, is het moeilijk om BBT op sectorniveau te kunnen afleiden.

Voor nieuwe installaties wordt verondersteld dat de variaties op de investeringskosten beperkt zijn (<50%), wat de fouten op de BBT-conclusies beperkt. Voor nieuwe installaties zal het dus wel mogelijk zijn BBT op sectorniveau te bepalen.

### ***Algemene analyse draaiuren***

We stellen vast dat bij installaties met meer dan 4000 draaiuren duidelijk meer technieken, m.n. nageschakelde maatregelen en combinaties, haalbaar zijn (zie voorbeeld bovenstaande tabel).

### ***Algemene analyse capaciteit***

De capaciteit heeft weinig effect op de kosteneffectiviteit maar wel op de technische haalbaarheid van het verwijderingsrendement.

### Analyse per installatietype

#### – Stookinstallaties op vaste biomassa

Voor de beschouwde deNO<sub>x</sub>-technieken stellen we het volgende vast:

- Rookgasrecirculatie:
  - dure techniek in verhouding tot de haalbare milieuwinst in vergelijking met andere deNO<sub>x</sub>-technieken;
- SNCR:
  - brandstoffen met N-gehalte > 1 gew.%:
    - ▲ SNCR is steeds haalbaar bij KE algemeen < 5 €/kg NO<sub>x</sub> verwijderd;
  - brandstoffen met een laag N-gehalte (< 1 gew.%):
    - ▲ vanaf 4000 draaiuren is SNCR haalbaar bij KE < 3-7 €/kg NO<sub>x</sub> verwijderd;
    - ▲ bij minder draaiuren en beperkte meerkost (max. 50%) ook haalbaar bij KE < 5-7 €/kg;
- SCR:
  - brandstoffen met laag N-gehalte (< 1 gew.%):
    - ▲ > 4000 draaiuren per jaar en beperkte extra investering (max. 50%) haalbaar bij KE < 5-7 €/kg NO<sub>x</sub> verwijderd;
    - ▲ bij minder draaiuren KE > 7 €/kg NO<sub>x</sub> verwijderd
  - brandstoffen met N-gehalte > 1 gew.%:

> 4000 draaiuren altijd haalbaar bij KE < 5-7 €/kg;

- ▲ bij minder draaiuren en beperkte meerkost ook haalbaar bij KE < 5-7 €/kg;

#### – Stookinstallaties op dierlijke en plantaardige vetten en oliën

Plantaardige vetten/oliën:

- SNCR is de meest kosteneffectieve techniek, onafhankelijk van de meerkost;
- SCR is kosteneffectief voor installaties met > 4000 draaiuren als de meerkost beperkt blijft (max.+50%);
- combinaties van primaire en secundaire maatregelen zijn kosteneffectief voor
  - ▲ installaties met < 4000 draaiuren, enkel primair met SNCR en dat als de meerkost beperkt blijft
  - ▲ installaties met > 4000 draaiuren:
    - primair en SNCR, als meerkost niet meer dan 150-200% van basisinvestering
    - primair en SCR als meerkost beperkt blijft, max. 50%

Dierlijke vetten:

- bijkomende primaire maatregelen zijn kosteneffectief voor
  - ▲ installaties met minder dan 4000 draaiuren als de meerkost beperkt blijft (max.+50%);
  - ▲ installaties met > 4000 draaiuren, onafhankelijk van de meerkost;
- SNCR is altijd kosteneffectief, onafhankelijk van de meerkost;
- SCR is kosteneffectief voor:
  - ▲ installaties met < 4000 draaiuren als de meerkost beperkt blijft (max.+50%);
  - ▲ installaties met > 4000 draaiuren
- combinaties van primaire en secundaire maatregelen zijn kosteneffectief voor
  - ▲ installaties met < 4000 draaiuren als de meerkost beperkt blijft
  - ▲ installaties met > 4000 draaiuren als meerkost niet meer dan 150-200% van basisinvestering

- *Dieselmotoren op dierlijke en plantaardige vetten en oliën*
  - SCR is de meest kosteneffectieve maatregel, onafhankelijk van de meerkost;
  - *combinatie van SCR* met injectie water/stoom is ook kosteneffectief, onafhankelijk van de meerkost
- *Stookinstallaties op biogas*
  - SCR is kosteneffectief voor installaties met > 6000 draaiuren als de meerkost beperkt blijft (max. +50%)
- *Gasmotoren op biogas*
  - SCR is kosteneffectief voor installaties met > 4000 draaiuren als de meerkost beperkt blijft (max. 50%)

**Bijlage 4****OMREKENINGSFORMULES EN -FACTOREN**

In onderstaande paragrafen worden enkele handige omrekeningsformules en -factoren aangegeven.

- **Overzicht stookwaarden hernieuwbare brandstoffen**

*Vaste biomassa:*

- hout: 16 MJ/kg
- slib: 10 MJ/kg
- mest: 17 MJ/kg
- diermeel: 18 MJ/kg
- grasachtige: 17,8 MJ/kg

*Vloeibare hernieuwbare brandstoffen:* 39 MJ/kg

*Biogas:* 25 MJ/Nm<sup>3</sup>

- **Overzicht gemiddeld rookgasdebit per eenheid brandstof**

*Vaste biomassa bij 6% O<sub>2</sub> in branders:*

- hout: 6,5 Nm<sup>3</sup>/kg
- slib: 5 Nm<sup>3</sup>/kg
- mest: 7 Nm<sup>3</sup>/kg
- diermeel: 7 Nm<sup>3</sup>/kg
- grasachtige: 7 Nm<sup>3</sup>/kg

*Vloeibare hernieuwbare brandstoffen:*

- branders: 11 Nm<sup>3</sup>/kg bij 3% O<sub>2</sub>
- dieselmotor: 33 Nm<sup>3</sup>/kg bij 15% O<sub>2</sub>

*Biogas:*

- gasbrander: 8 Nm<sup>3</sup>/Nm<sup>3</sup> biogas bij 3% O<sub>2</sub>
- gasmotor: 22 Nm<sup>3</sup>/Nm<sup>3</sup> biogas bij 15% O<sub>2</sub>
- gasturbine: 22 Nm<sup>3</sup>/Nm<sup>3</sup> biogas bij 15% O<sub>2</sub>

- **Omrekening van mg/Nm<sup>3</sup> rookgas naar mg/MJ**

100 mg/MJ vaste biomassa	→	200 mg/Nm <sup>3</sup> bij 6%O <sub>2</sub> , voor slib 180 mg/Nm <sup>3</sup> bij 6%O <sub>2</sub>
100 mg/MJ biofuels	→	115 mg/Nm <sup>3</sup> bij 15% O <sub>2</sub>
100 mg/MJ biogas	→	115 mg/Nm <sup>3</sup> rookgas bij 15% O <sub>2</sub>





**Bijlage 5****TECHNISCHE FICHES**

In deze bijlage worden de technische fiches weergegeven van de technieken die in hoofdstuk 3 en 4 algemeen worden beschreven.

In de technische fiches wordt volgende informatie weergegeven:

*Beschrijving maatregel:*

Proces/deelproces, waarop de beschikbare milieuvriendelijke techniek betrekking heeft;  
Beschrijving van de techniek;

*Milieuvoordeel: de opbrengst die de techniek oplevert voor het milieu;*

*Financiële aspecten: investeringskosten, werkingskosten, rendabiliteit, ...;*

Indien voor bepaalde punten geen informatie beschikbaar is, bijvoorbeeld voor de overige aspecten of aanvullende informatie, dan zijn deze weggelaten.

**Overzicht van de technische fiches**

TF 1:	Drogen van de vaste hernieuwbare brandstof . . . . .	254
TF 2:	Rookgascondensatie . . . . .	255
TF 3:	Zorgen voor optimale verbranding . . . . .	257
TF 4:	Getrapte brandstofvoer . . . . .	259
TF 5:	Getrapte luchttoevoer . . . . .	261
TF 6:	Rookgasrecirculatie . . . . .	263
TF 7:	Water/stoominjectie . . . . .	265
TF 8:	Lage NOx verbranding . . . . .	266
TF 9:	Selectieve niet katalytische reductie . . . . .	268
TF 10:	Selectieve katalytische reductie . . . . .	270
TF 11:	Multi-cycloon . . . . .	274
TF 12:	Elektrostatische precipitatie . . . . .	277
TF 13:	Doekfilter . . . . .	280
TF 14:	Natte ontwaveling . . . . .	282
TF 15:	Droog sorbent injectie . . . . .	284
TF 16:	Elsbett motor . . . . .	286
TF 17:	Gasmotor . . . . .	289
TF 18:	Dieselmotor . . . . .	291
TF 19:	Gasturbine . . . . .	293
TF 20:	Stookketel . . . . .	294
TF 21:	Gesloten processen voor elektriciteitopwekking . . . . .	296
TF 22:	Roosterverbranding . . . . .	300
TF 23:	Wervelbedoven . . . . .	305

## TECHNISCHE FICHE 1

### Drogen van de vaste hernieuwbare brandstof

#### Beschrijving maatregel

*Proces/deelproces: Energie-efficiëntie*

*Beschrijving:* De vaste hernieuwbare brandstof moet voldoende droog zijn als ze wordt verbrand. Bij vochtgehalten hoger dan 50% en het niet voorverwarmen van de verbrandingslucht ontstaan problemen met het bereiken van de gewenste verbrandingstemperatuur (ca. 850°C). Het gevolg hiervan is een slechte verbranding en hoge emissies.

Voor het drogen is extra energie nodig. Geforceerd drogen wordt enkel toegepast indien afvalwarmte tegen lage kost kan worden ingezet.

Indien gewerkt wordt met een roosteroven, kan eventueel een deel van het rooster gebruikt worden als droogzone.

#### Toepassingsgebied

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de technische toepasbaarheid van deze maatregel voor de verschillende installatietypes; m.n.

Vaste	Vloeibare	Gasvormige	Nieuw	Bestaand	Klein	Middelgroot	Groot
+			+	+		+	+

#### Milieuvoordeel

Door het vochtgehalte van de brandstof te beperken kan een voldoende hoge verbrandingstemperatuur worden bekomen. Hierdoor krijgt men een betere verbranding en worden emissies van CO, VOS, PAK en dioxines beperkt. De NOx-emissies worden hierdoor echter negatief beïnvloed.

#### Financiële aspecten

Deze maatregel brengt extra energiekosten met zich mee indien de droging gebeurt met externe energie. Deze techniek wordt enkel rendabel geacht wanneer interne afvalwarmte gebruikt kan worden voor het droogproces. Dit is enkel haalbaar voor middelgrote en grote capaciteiten.

## TECHNISCHE FICHE 2

### Rookgascondensatie

#### Beschrijving maatregel

Proces/deelproces: *Energie-efficiëntie*

*Beschrijving:* Een rookgascondensator heeft als doel om warmteverliezen via de rookgassen te beperken. Het plaatsen van condensators zorgt ervoor dat rookgassen worden afgekoeld tot onder het dauwpunt. Door de condensatie van de waterdamp in de rookgassen tot vloeibaar water, komt condensatiewarmte vrij. Deze warmte kan worden afgestaan aan water op lagere temperatuur (b.v. water op 30°C) en het stookrendement kan met 10% verhoogd worden.

Er zijn twee typen condensators. Bij de enkelvoudige condensator kan de condensator op een retour van een ketel of op een apart net worden aangesloten. De combicondensator is opgebouwd uit twee secties, waarvan de eerste is aangesloten op een retour en de tweede op een apart net met voldoende koud water. Bij een combicondensator wordt de temperatuur van de rookgassen verder verlaagd dan bij een enkelvoudige condensator op een apart net. De afweging tussen een enkelvoudige condensator en een combicondensator wordt bepaald door aspecten als terugverdiëntijd en de aanwezigheid en grootte van de mogelijke afzet van de condensatiewarmte.

De condensator wordt achter de ketel gemonteerd. Rookgassen worden door de condensator geleid en vervolgens door de schoorsteen afgevoerd. Waterzijdig wordt de condensator aangesloten op het verwarmingssysteem. Het door de condensator op te warmen water moet zo koud mogelijk zijn: de condensator behaalt dan het hoogste rendement.

In Denemarken zijn de meerderheid van de biomassacentrales voor centrale verwarming voorzien van rookgascondensatie. In Zweden, Finland en Oostenrijk neemt het aantal toe. Duitsland, Italië en Zwitserland hebben ook reeds meerdere operationele installaties.

#### Toepassingsgebied

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de technische toepasbaarheid van deze maatregel.

Vaste	Vloeibare	Gasvormige	Nieuw	Bestaand	Klein	Middel-groot	Groot
+	+	Enkel ont-zwavelde biogas	+	+	+	+	+

Deze maatregel is aangewezen bij een hoog brandstofverbruik. Een rookgascondensator is niet toepasbaar bij het gebruik van brandstoffen met hoge S-gehalten (niet gereinigd biogas) de aanwezigheid van SO<sub>2</sub> (en SO<sub>3</sub>) veroorzaakt corrosie. Voorwaarde voor de toepassing van een condensator is dat in het ketelhuis hiervoor voldoende ruimte aanwezig is en men een toepassing vindt voor de laagwaardige condensatorwarmte.

Tevens wordt een rookgascondensator enkel ingezet bij het gebruik van natte biomassa (gemiddeld vochtgehalte van 40-55 gew.%).

### Milieuvoordeel

Bovenop het hoge energierecuperatie (tot 20% van de energie-input), kunnen tevens stofverwijderingsrendementen van 40-75% behaald worden. Deze stofverwijderingsrendementen kunnen nog verbeterd worden door het plaatsen van een nageschakelde elektrostatische precipitator. Testen hebben uitgewezen dat een verwijderingsefficiëntie van 99% bij temperaturen onder 40°C haalbaar zijn (Oberberger I. et al., 1996a).

Het condensaat-slib moet afgescheiden worden van het condensaat (d.m.v. sedimentatietanks) omdat het significante hoeveelheden zware metalen bevat. Dit moet afgevoerd worden of hergebruikt worden. Onderzoek heeft aangetoond dat de scheiding van slib en condensaat best gebeurt bij pH > 7,5 om ontbinding van de zware metalen te voorkomen en aan de opgelegde lozingsseisen voor oppervlaktewater te voldoen (Oberberger I. et al., 1996b).

Onderzoek bij drie biomassa gestookte verwarmingsinstallaties in Oostenrijk geeft een indicatie van de te verwachten hoeveelheden condensaat en slib dat vrijkomt bij rookgascondensatie (Oberberger I. et al., 1997):

- slib: 0,01-0,3 kg droge stof per MWh warmte geproduceerd in de ketel. De hoeveelheid slib is ook afhankelijk van de belasting, daar de efficiëntie van de voorgeschakelde stofafscheidingsinstallaties op hun beurt ook afhankelijk zijn van de belasting.
- condensaat: 150-500 liter per MWh warmte geproduceerd in de ketel. De hoeveelheid condensaat hangt af van de hoeveel vocht in de brandstof, de temperatuur van de rookgassen die uit de condensor komen en de zuurstofconcentratie in de rookgassen (luchtvermaat in het verbrandingsproces).

### Financiële aspecten

Investeringskosten: enkelvoudige condensor voor een ketelcapaciteit van:

- 1160 kW: 7.340 euro
- 2320 kW: 9.740 euro
- 1640 kW: 13.660 euro
- 9280 kW: 18.450 euro

Investeringskosten: combi-condensor voor een ketelcapaciteit van:

- 1160 kW: 9.680 euro
- 2320 kW: 12.400 euro
- 4640 kW: 6.920 euro
- 9280 kW: 20.900 euro

## TECHNISCHE FICHE 3

### Zorgen voor een optimale verbranding

#### Beschrijving maatregel

*Proces/deelproces: Beperking van emissies naar de atmosfeer*

*Beschrijving:* Een eerste mogelijkheid is het beperken van de overmaat verbrandingslucht. Dit proces, dat soms niet-stoichiometrische verbranding genoemd wordt, limiteert de zuurstofconcentratie om de vorming van brandstof-NOx te verminderen.

In de praktijk is tussen de 40 en 100% luchtvermaat nodig. Dit stemt overeen met 6-10,5% zuurstof in de rookgassen. Een te grote luchtvermaat leidt tot afkoeling van de rookgassen. Hierdoor zorgt een luchtvermaat > 100% bij de meeste installaties tot energieverlies zonder dat dit tot een betere uitbrand leidt.

Een tweede mogelijkheid bestaat erin om de temperatuur van de verbrandingslucht te beperken. Dit leidt tot lagere piektemperaturen in de vuurhaard en aldus tot een vermindering van de NOx.

Tevens is het noodzakelijk om een goede brandervoorbereiding te hebben (o.a. een goede temperatuur/viscositeit van de brandstof) en te zorgen voor degelijk en regelmatig onderhoud. Dit houdt ondermeer in dat roetaanlading wordt verwijderd. Zo kan bij roosterverbranding van vaste brandstoffen bijvoorbeeld verstopping en aanlading van de roosters aanleiding geven tot een verstoring van het luchttoevoerpatroon en bijgevolg tot een minder goede menging en verbranding.

Optimalisatie van de verbranding is een technisch goed haalbare methode om bij bestaande installaties (zowel stookinstallaties als motoren) de NOx-emissie, maar ook CO- en stofemissies, onder controle te houden.

#### Toepassingsgebied

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de technische toepasbaarheid van deze maatregel.

Vaste	Vloeibare	Gasvormige	Nieuw	Bestaand	Klein	Middel-groot	Groot
+	+	+	+	+	+	+	+

#### Milieuvoordeel

De verschillende technische maatregelen vermijden de vorming van producten van onvolledige verbranding (CO, stof, PAK, VOS). Hierbij kunnen de CO-emissies onder de 250 mg/Nm<sup>3</sup> (bij 11% O<sub>2</sub>) worden gehouden, zonder negatieve invloed op NOx. Als gevolg daarvan zijn de emissies van stof, VOS en PAK laag.

Degelijk en regelmatig onderhoud zorgt voor een rendementsstijging. Elke mm roet die zich vastzet leidt tot 5% rendementsverlies.

### **Financiële aspecten**

Deze maatregel houdt een degelijk onderhoud en afstelling van de installatie in. Onderhoudskosten variëren naar type installatie (ca. 200-400 euro/onderhoudsbeurt voor kleine installaties).

Door de optimalisatie van de verbranding kunnen de emissies beperkt worden aan veel lagere kosten, dan met een investering in een bijkomende rookgasreiniging.

Er wordt vanuit gegaan dat de opbrengst door het verminderd brandstofverbruik (1%) de kosten voor modificaties en personeel net dekken bij 50% gebruik van de brander.

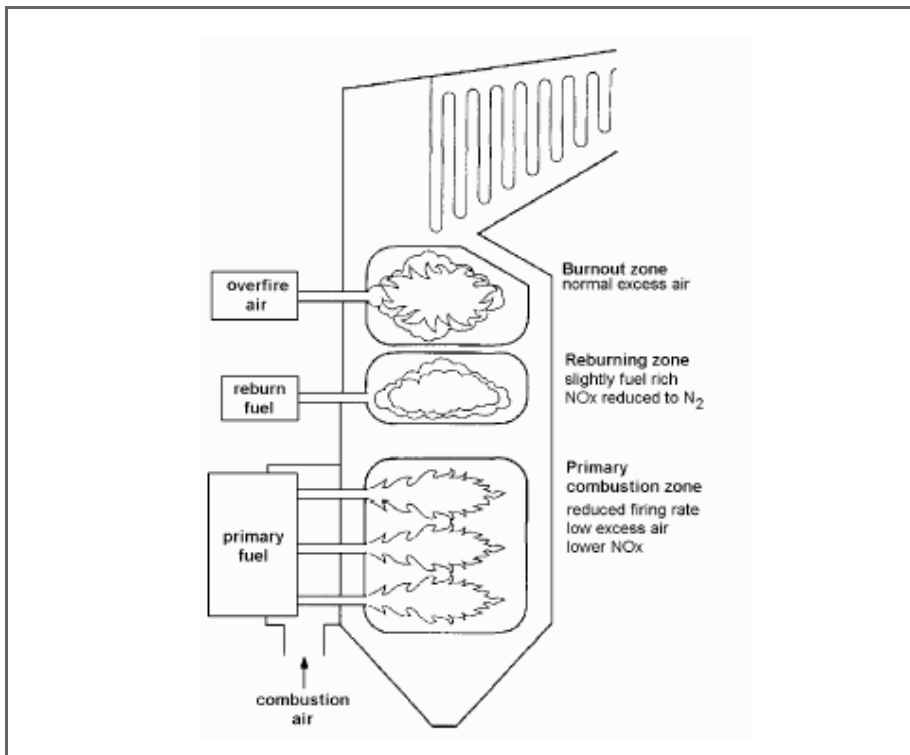
## TECHNISCHE FICHE 4

### Getrapte brandstoftoevoer of reburning

#### Beschrijving maatregel

Proces/deelproces: *Beperking van NO<sub>x</sub> emissies*

*Beschrijving:* Reburning of getrapte brandstoftoevoer is gebaseerd op de vorming van verschillende zones in de brander door getrapte injectie van brandstof. Het doel is om reeds gevormde NO<sub>x</sub> te reduceren tot stikstof. De verbranding kan verdeeld worden in drie zones.



**Figuur 25:** Reburning (CIEMAT, Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants, juni 2006)

- In de primaire zone wordt 85 tot 90% van de brandstof verbrand in een oxiderende of licht reducerende atmosfeer en wordt er ook NO<sub>x</sub> gevormd.
- In de volgende verbrandingszone wordt de secundaire brandstof (reburning brandstof) geïnjecteerd in een reducerende atmosfeer waardoor C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> radicalen worden gevormd. Deze radicalen reageren met NO<sub>x</sub> tot stikstof maar andere, minder gewenste, vluchtige stikstofcomponenten zoals ammoniak worden ook gevormd. Deze tweede zone wordt vaak de reburning zone genoemd en de secundaire brandstof de reburning brandstof. Als secundaire

- brandstof kan aardgas, olie, pyrolyse gas, biomassapoeder, zaagmeel of gelijkaardige brandstoffen worden gebruikt.
- De verbranding wordt dan vervolledigd door toevoeging van lucht (overfire air) in de uitbrandzone (derde zone).

### Toepassingsgebied

Deze techniek kent reeds enige toepassing op stookketels op fossiele brandstoffen, m.n. voor aardgas, stookolie en poederkool. Daar biomassa reeds enkele chemische componenten bevat (stikstof- en alkali-bevattende componenten) die de genoemde reacties in de reburning zone promoten, is het mogelijk dat biomassa nog efficiënter is voor NO<sub>x</sub>-reductie dan aardgas.

In principe kan reburning geïmplementeerd worden op alle typen stookinstallaties. Er moet wel voldoende ruimte beschikbaar zijn in de ketelruimte om een reburn-zone te kunnen realiseren. Daarnaast vraagt getrapte brandstoftoevoer een automatische brandstoftoevoer van primaire en secundaire brandstof. De secundaire brandstof moet makkelijk aan te passen zijn.

Dit beperkt de toepasbaarheid in de praktijk tot de nieuwe installaties, omdat een geschikt procesontwerp, met 2 brandstoftoevoersystemen en een accuraat controlesysteem, nodig zijn.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de technische toepasbaarheid van deze maatregel.

Vaste	Vloeibare	Gasvormige	Nieuw	Bestaand	Klein	Middelgroot	Groot
+	+	+	+			+	+

Bij verbranding van hernieuwbare brandstoffen wordt deze techniek nog niet toegepast, maar is hij het wel onderwerp van onderzoek. De mogelijkheden van getrapte brandstoftoevoer is onderzocht in een onderschroefstoker (Nussbaumer T., 1997) waar de secundaire brandstof werd toegevoegd op een tweede rooster boven het eerste brandstofbed. Er werd hierbij 70% van de brandstofinput in de primaire zone en 30% in de secundaire zone. Een NO<sub>x</sub> emissiereductie van 52-73% werd gerealiseerd bij een temperatuur in de reductie zone van 700°C.

### Milieuvoordeel

Getrapte brandstoftoevoer of reburning voorkomt enerzijds de vorming van NO<sub>x</sub> en zet de reeds gevormde NO<sub>x</sub> om in N<sub>2</sub>. Nevenproducten zijn HCN en NH<sub>3</sub>.

Met reburning kan een emissiereductie van 20-50% worden behaald. De LCP BREF (ANN., juni 2006) vermeldt voor sommige installaties een mogelijke reductie van 50-80% bij reburning met vloeibare brandstoffen en 40-50% voor aardgasreburning.

### Financiële aspecten

De implementatie van deze techniek is duur en vereist een aangepaste verbrandingskamer.



## TECHNISCHE FICHE 5

### Getrapte luchttoevoer of air staging

#### Beschrijving maatregel

Proces/deelproces: *Beperking van NOx emissies*

*Beschrijving:* NOx reductie door air staging is gebaseerd op de vorming van twee gescheiden verbrandingszones, een primaire verbrandingszone met een tekort aan zuurstof en een secundaire verbrandingszone met een overmaat aan zuurstof, om zo volledige verbranding te verzekeren. Air staging reduceert de hoeveelheid aanwezige zuurstof (primaire lucht 70-80%) in de primaire verbrandingszone. Deze sub-stoichiometrische conditie in de primaire zone onderdrukt de omzetting van brandstofgebonden stikstof tot NOx. Eveneens wordt zo de vorming van thermische NOx gereduceerd door de lage vlamtemperatuur. In de secundaire zone wordt 10-30% van de verbrandingslucht geïnjecteerd boven de verbrandingszone. De verbranding wordt door dit verhoogd vlamvolume vervolledigd. In ketels en fornuizen kunnen de volgende mogelijkheden worden gehanteerd om air staging te bekomen:

- Biased burner firing (BBF): BBF wordt veel gebruikt als retrofit maatregel bij bestaande installaties en vereist weinig aanpassingen aan de stookinstallatie. De onderste branders werken brandstofrijk terwijl de bovenste branders voorzien van een luchtovermaat.
- Burners out of service (BOOS): omdat BOOS ook geen grote aanpassingen vereist, wordt deze techniek ook regelmatig toegepast als retrofit maatregel op bestaande installaties. Hier werken de onderste branders eveneens brandstofrijk, terwijl de bovenste branders niet in gebruik zijn en enkel lucht injecteren. Het effect van deze maatregel is te vergelijken met overfire air maar de NOx-reductie van BOOS is niet zo efficiënt. Problemen kunnen ontstaan bij het onderhouden van de brandstofinput, omdat dezelfde thermische energie aan de ketel moet toegevoegd worden met minder branders. Daarom wordt deze maatregel enkel toegepast in gas- of oliegestookte verbrandingsketels.
- Overfire air: bij OFA worden luchtopeningen geïnstalleerd boven de bestaande branders. Een deel van de verbrandingslucht wordt door deze aparte openingen geïnjecteerd, welke zich boven de laatste rij van branders bevinden. De branders kunnen dus werken met lage luchtovermaat, welke zo de NOx vorming verhindert. De overfire air zorgt voor volledige verbranding. Er wordt 15-30% van de totale verbrandingslucht die normaal door de branders passeerde nu via de overfire air openingen gestuurd.

#### Toepassingsgebied

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de technische toepasbaarheid van deze maatregel.

Vaste	Vloeibare	Gasvormige	Nieuw	Bestaand	Klein	Middel-groot	Groot
(+)	+	+	+	+	+	+	+

De toepassing van getrapte verbranding is al ver doorgevoerd. Bijna alle nieuwe stookinstallaties worden uitgevoerd met getrapte verbranding.

Air staging stelt echter wel strikte eisen aan de brandstof. Door de relatief hoge temperaturen nodig in de reductiezone is de smelttemperatuur van de assen een belangrijke brandstofeigenschap daar sintering en slakvorming het verbrandingsproces verstoren.

### **Milieuvoordeel**

Air staging leidt tot een verlaging van de NO<sub>x</sub>-emissies met 30-40%, en een verhoging van het rendement. Mede is door het toepassen van een lage luchtfactor de gassnelheid in de vuurhaard lager. Hierdoor wordt minder stof door de rookgassen uit de vuurhaard meegevoerd.

Er zijn wel twee grote nadelen aan air staging als NO<sub>x</sub>-reductiemaatregel. Eerst en vooral is er de significante hoeveelheid CO die kan gevormd worden als de luchtopeningen niet ideaal worden geplaatst. Een tweede effect is de hoeveelheid onverbrande koolwaterstoffen die kunnen toenemen in het geval van retrofitting, daar het volume tussen verbrandingszone en warmtewisselaars afneemt.

In een testreactor van 25 kW (Nussbaumer T.1997) met vast bed vergassing, gevolgd door een verbranding van de gasfase, werden NO<sub>x</sub>-reducties van 50-75% behaald met getrapte luchttoevoer. De reductiepercentages nemen toe met toenemende brandstofgebonden N bij optimale condities:

- verblijftijd > 0,3 s
- temperatuur in de reductiezone 1100-1200°C
- primaire luchtvermaat 0,7

### **Financiële aspecten**

Deze maatregel wordt reeds lange tijd als standaard beschouwd. Er worden voor het gebruik van deze maatregel dan ook geen meerkosten verrekend.

De investeringskost voor airstaging bedraagt ca. € 6000 per MW<sub>th</sub>. De werkingskost ca 0,10 €/MWh (Vlaamse sectorstudies, <http://www.lnc.be/themas/luchtverontreiniging/informatiestudies>).

## TECHNISCHE FICHE 6

### Rookgasrecirculatie

#### Beschrijving maatregel

*Proces/deelproces: Beperking van NOx emissies*

*Beschrijving:* De recirculatie van de rookgassen terug naar de verbrandingskamer resulteert in de reductie van de aanwezige zuurstof in de verbrandingszone en zo in een daling van de vlamtemperatuur: daardoor wordt dus zowel de brandstof NOx en thermische NOx-vorming gereduceerd.

Bij externe rookgasrecirculatie worden de rookgassen (20-30% bij temperatuur van ongeveer 350-400°C) d.m.v. een externe ventilator afgeleid van de hoofdstroom en na verwijdering van stof terug in de ketel gebracht. Bij interne rookgasrecirculatie worden de rookgassen door constructie van de branderkop/motor gedwongen om te recirculeren. De gerecirculeerde rookgassen worden gemengd met de verbrandingslucht in de brander of met getrapte verbrandingslucht.

#### Toepassingsgebied

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de technische toepasbaarheid van deze maatregel.

Vaste	Vloeibare	Gasvormige	Nieuw	Bestaand	Klein	Middel-groot	Groot
+	+	+	+	(+)	+	+	+

Voor bestaande installaties moet de oven omgebouwd worden, wat een forse ingreep is. Externe rookgasrecirculatie is veel duurder dan interne, maar geeft betere resultaten. Rookgasrecirculatie is het meest efficiënt op continue verbrandingsprocessen.

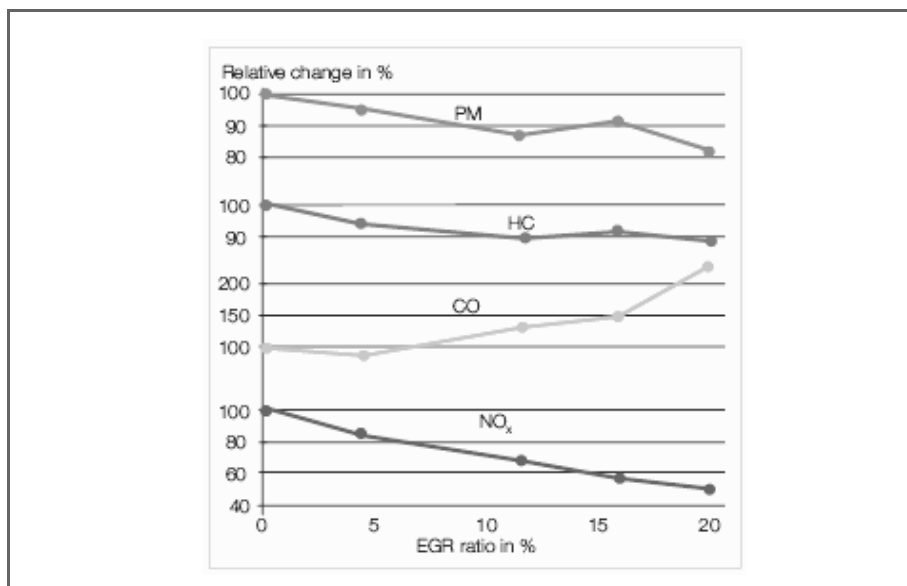
Uit testen bij onderschroefverbranding is waargenomen dat rookgasrecirculatie tevens leidt tot een lagere hoeveelheid aerosolen in het rookgas (Novem, 2000)

Ook dieselmotoren worden uitgerust met interne rookgasrecirculatie (MAN, 2004).

#### Milieuvoordeel

De NOx emissies worden d.m.v. rookgasrecirculatie verminderd met 10-25%.

Uit onderstaande figuur kan afgeleid worden dat de emissies van PM en HC, en met name NOx, afnemen bij toenemend rookgasrecirculatie-debiet. De CO-emissies nemen toe, daar door toenemend rookgasrecirculatie-debiet de hoeveelheid zuurstof in de verbrandingskamer afneemt.



**Figuur 26:** Emissies bij 75% belasting bij verschillende recirculatie% (MAN, 2008)

### Financiële aspecten

Investeringskosten worden geschat op ca. 5000 euro/MWth voor kleine tot middelgrote installaties (<http://www.lne.be/themas/luchtverontreiniging/informatie-studies>, Derden et al, 2006). Jaarlijkse werkingskosten worden bij verdere berekeningen ingeschat op 5% van de jaarlijkse investeringskost.

## TECHNISCHE FICHE 7

### Water/stoominjectie

#### Beschrijving maatregel

*Proces/deelproces: Beperking van NOx emissies*

*Beschrijving:* Een eenvoudige manier om de NOx-emissies terug te dringen is door water of stoom te injecteren in de verbrandingskamer. De werking van water/stoominjectie is gebaseerd op het verlagen van de vlamtemperatuur en verhoging van het aantal vrije OH-radicalen. Injectie van water kan leiden tot schade aan de brander en vuurhaard (thermische shock) en geeft een verlaging van het rendement met 1 à 2%.

Koelmiddelinjectie was de eerste primaire maatregel die ontwikkeld werd ter vermindering van de NOx-emissies. Momenteel is deze maatregel echter op de achtergrond geraakt.

#### Toepassingsgebied

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de technische toepasbaarheid van deze maatregel.

Vaste	Vloeibare	Gasvormige	Nieuw	Bestaand	Klein	Middelgroot	Groot
	+ (enkel motoren)	+	+	+	+	+	+

Het probleem bij water/stoominjectie is de verlaging van het rendement (1 à 2%). Tevens worden bijkomende pompen en aansluitingen voorzien voor het waterinjectie-systeem; dit maakt de installatie complexer en vergt dus meer onderhoud.

#### Milieuvoordeel

Door toevoeging van water of stoom kunnen de emissies met ca. 10 tot max 60% gereduceerd worden, zonder nadelig effect op de efficiëntie van de installatie.

Verlaging van het rendement van de installatie leidt tot een hoger energieverbruik en verhoogde CO- en stofemissies (verdubbeling tot vervijfvoudiging mogelijk).

#### Financiële aspecten

Investeringskosten bedragen ca. 17.000 euro/MWth. Voor middelgrote en grote installaties (>20MWth) ligt de kost op ca. 3000 €/MWth (Goovaerts et al., 2002)

Ter info.: Stoom/waterinjectie vraagt ook een aanpassing aan de brander die ca. € 30.000 bedraagt voor een installatie van 3MWth en € 5.700 euro voor een dieselmotor van 163 kW (Host, 29/12/2005).

## TECHNISCHE FICHE 8

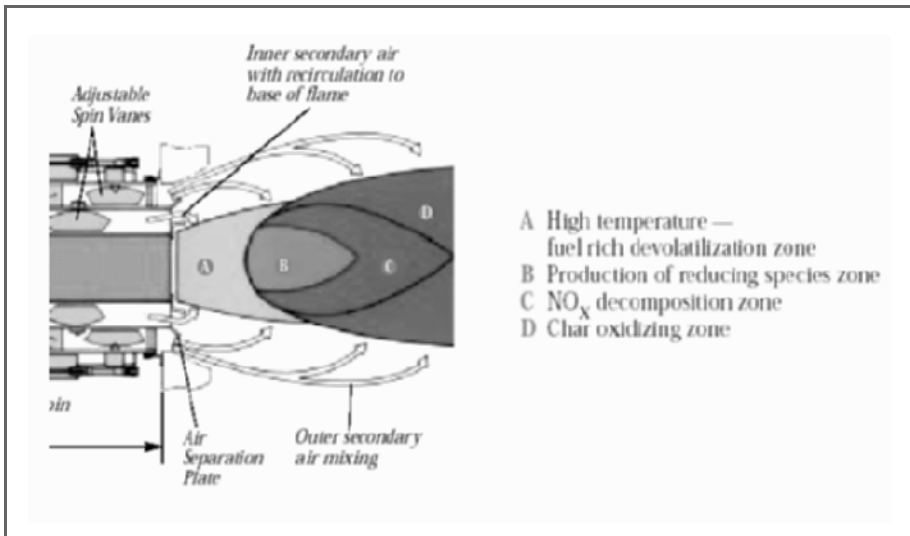
### Low-NO<sub>x</sub> branders

#### Beschrijving maatregel

Proces/deelproces: *Beperking van NO<sub>x</sub> emissies*

*Beschrijving:* Deze verbrandingstechnische maatregel grijpt in op de manier van het toedienen van lucht en brandstof door het mengen uit te stellen, de beschikbaarheid van de zuurstof te verminderen en de vlamtemperatuur te beperken. Het principe van de Low-NO<sub>x</sub>-burner (LNB) is om de lucht en de brandstof zo te mengen dat er een grotere en uitgebreidere vlam ontstaat. Door de uitgebreide vlamstructuur is er minder zuurstof beschikbaar in de hete delen van de vlam. Dit resulteert in minder hoge piektemperaturen en vertraagt zo de omzetting van brandstofgebonden N tot NO<sub>x</sub> en de vorming van thermische NO<sub>x</sub>, terwijl de hoge verbrandingsefficiëntie toch behouden blijft.

In de eerste fase vindt een verbranding plaats in een brandstofrijke zone en zuurstofarm gebied. Er vormt zich een nevel van onverbrande koolwaterstofdeeltjes, die zal reageren met de ontstane NO<sub>x</sub>. Vervolgens wordt de nevel volledig verbrand. Het ontstaan van NO<sub>x</sub> in deze fase wordt beperkt door het toevoegen van lucht.



**Figuur 27:** Principe van de low NO<sub>x</sub> verbranding (Laborelec, 2005)

In overeenstemming met de verschillende principes om NO<sub>x</sub>-vorming te reduceren, worden LNB ook ontwikkeld als air staged (getrapte verbrandingslucht), rookgasrecirculatie en reburning branders.

## Toepassingsgebied

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de technische toepasbaarheid van deze maatregel.

Vaste	Vloeibare	Gasvormige	Nieuw	Bestaand	Klein	Middel-groot	Groot
+	+	+	standaard	+	+	+	+

Low NOx is stand der techniek voor nieuwe branders, op vaste, vloeibare en gasvormige brandstoffen. Ook bestaande installaties kunnen uitgerust worden met lage NOx branders.

Ook voor dieselmotoren, gasmotoren en gasturbines bestaat een gelijkaardige maatregel: 'lean burn' of 'dry low NOx' genaamd. Tegenwoordig zijn alle industriële motoren en turbines uitgerust met low NOx systemen.

## Milieuvoordeel

Met lage NOx-branders is een NOx-emissiereductie van ca. 20-40% haalbaar (installatieafhankelijk).

Voor gasbranders worden NOx-emissies < 70-80 mg/Nm<sup>3</sup> bij 3%O<sub>2</sub> en voor olietkels < 190-250 mg/Nm<sup>3</sup> bij 3%O<sub>2</sub> aangegeven in de literatuur. Gemiddeld behalen LNB in de praktijk emissiewaarden van 120 mg NOx/Nm<sup>3</sup> voor gasgestookte ketels en 370-400 voor stookolie gestookte ketels bij 3%O<sub>2</sub>.

Voor gasmotoren uitgerust met lean burn worden haalbare NOx emissies van 90-190 mg/Nm<sup>3</sup> bij 15% O<sub>2</sub> genoteerd (Euromot, 2008)

Lage-NOx-branders beïnvloeden het vermogen negatief omdat ze een grotere energievraag hebben. Ze behoeven grotere ventilatoren om de grotere drukval te kunnen overwinnen.

## Financiële aspecten

De prijzen variëren van fabrikant tot fabrikant, variaties op de aankooprijzen van 10-15% zijn mogelijk. De bijkomende operationele kosten zijn voor een groot deel te wijten aan het bijkomende energieverbruik.

Ter informatie wordt in onderstaande tabel een overzicht gegeven van een aantal maximumprijzen voor lage NOx branders (Weishaupt 2004, Elco, informatie Vlaamse sectorstudies: <http://www.lne.be/themas/luchtverontreiniging/informatie-studies>):

Gasbranders:	2 MWth: € 30.500
	4 MWth: € 24.000-38.000
	6 MWth: € 33.000-43.000
	10 MWth: €35.000
	12 MWth: € 46.000

De LNB die zeer lage NOx-waarden kunnen halen (< 70 mg/Nm<sup>3</sup> voor aardgas en 120 mg/Nm<sup>3</sup> voor lichte stookolie) zijn gemiddeld 15-20% duurder dan opgegeven in bovenstaande tabel.

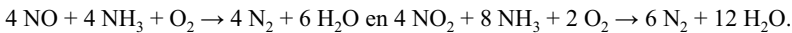
## TECHNISCHE FICHE 9

### Selectieve niet-katalytische reductie

#### Beschrijving maatregel

Proces/deelproces: **Beperking van NOx-emissies**

*Beschrijving:* Ter verlaging van de NOx-uitstoot kan een secundair additief rechtstreeks geïnjecteerd worden in een welbepaald temperatuursgebied (900-1050°C) in de verbrandingskamer. Het additief, nl. ammoniak (oplossing van 25% in water) of ureum, wordt in de rookgassen gespoten, en zal dan reageren met de stikstofoxides:

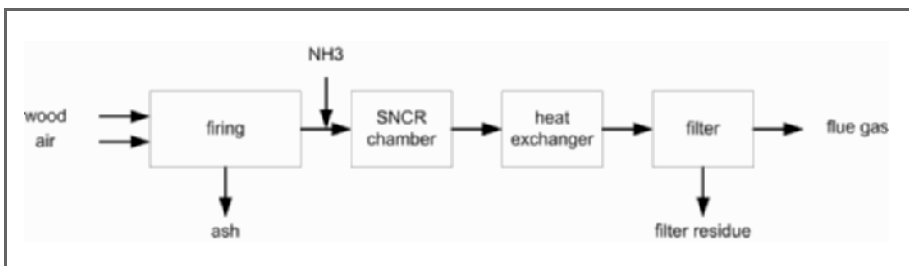


Deze reacties vinden spontaan plaats tussen 900 en 1050°C. Daarboven treden secundaire reacties op met vorming van NO en N<sub>2</sub> tot gevolg. Onder de 900°C treedt er weinig NOx-omzetting op en slijt de ammoniak door.

Daar de injectie van het additief in een welbepaalde temperatuurszone moet gebeuren, is de injectielans mobiel uitgevoerd. Bij modulerende branders zal de injectielans automatisch verplaatst worden zodat de injectie steeds in deze temperatuurszone plaatsvindt.

Naast de temperatuur is een juiste verblijftijd, een goede verdeling en verstuuving bepalend voor het succes van deze reacties.

Opdat de dosering optimaal zou verlopen, is het nodig om de hoeveelheid NOx en ammoniak in de rookgassen continu te meten. Enkel voor eenheden die continu op hetzelfde regime draaien, kan eventueel de continue meting van de ammoniakconcentratie worden weggelaten.



**Figuur 28:** Schematisch overzicht van een SNCR op een houtgestookte installatie

#### Toepassingsgebied

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de technische toepasbaarheid van deze maatregel.

Vaste	Vloeibare	Gasvormige	Nieuw	Bestaand	Klein	Middel-groot	Groot
+	+		+	+	(+)	+	+



In de praktijk is de toepassing van SNCR beperkt tot middelgrote/grote installaties, waarbij het strikte temperatuurinterval voor ureum- of ammoniakinjectie kan worden gerespecteerd. Deze techniek is in bestaande verbrandingssystemen beperkt inzetbaar, omdat de verblijftijd dan niet lang genoeg is. Hierdoor is de techniek ook niet toepasbaar op motoren. Voor nieuwe systemen is SNCR wel toepasbaar.

Indien in de rookgassen SO<sub>2</sub> en/of HCl aanwezig zijn, kunnen er specifieke problemen zoals corrosie of vorming van afzettingen optreden door vorming van (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> of NH<sub>4</sub>Cl.

### **Milieuvoordeel**

De hoeveelheid NO<sub>x</sub> wordt typisch met 30-50% (maximaal 50% voor de meest ideale omstandigheden bij eenheden met een constante belasting) verminderd.

Er kunnen beperkte bijkomende emissies van NH<sub>3</sub> (de ammoniakslip + de niet-geleide emissies verbonden aan het laden/lossen en opslag van dit product). Tevens zijn er veiligheidsrisico's verbonden aan de opslag van een ammoniakoplossing.

### **Financiële aspecten**

De instapkost voor een SNCR installatie bedraagt volgens installateurs ca. € 100.000 (gegevens van leden begeleidingscomité).

Er worden echter ook lagere kostprijzen gerapporteerd (informatie Vlaamse sectorstudies 2002-2004 – <http://www.lne.be/themas/luchtverontreiniging/informatie-studies>), nl. 3.100 per 1000Nm<sup>3</sup>/u rookgas x 175% eenmalige installatiekost.

De operationele kosten bedragen:

- 0,5-2% van het elektrisch vermogen
- verbruik NH<sub>3</sub>-oplossing: 570 kg NH<sub>3</sub> per ton NO<sub>x</sub> an 150 €/ton
- € 10 per 1000 Nm<sup>3</sup>/uur (kosten personeel, nutsvoorzieningen, hulpstoffen en reststoffen)

Vlaamse sectorstudies (<http://www.lne.be/themas/luchtverontreiniging/informatie-studies> – Chemie II 2004) vermelden een totale werkingskost van 950 € per ton NO<sub>x</sub> verwijderd.

## TECHNISCHE FICHE 10

### Selectieve katalytische reductie

#### Beschrijving maatregel

*Proces/deelproces: Beperking van NOx-emissies*

*Beschrijving:* Bij de klassieke SCR wordt het stofvrije rookgas op een temperatuur van 200-500 °C door een katalysatorbed geleid. Net zoals bij de SNCR wordt ook hier ammoniak ingezet om de stikstofoxides te verwijderen, maar de reacties verlopen dus met behulp van een katalysator (vanadium, wolfram of molybdeen op een substraat van titaanoxide). Dit laat reductie toe op een veel lagere temperatuur: 200 à 500°C i.p.v. 900-1050°C. De werkingstemperatuur is grotendeels afhankelijk van het katalysatortype. Er is een trend naar de ontwikkeling van katalysatoren zonder edelmetalen die toch bij een lage werkingstemperatuur een behoorlijke reactiesnelheid halen.

In de praktijk vergt deze combinatie van voorwaarden dat de SCR geplaatst wordt net voor de schouw, en nadat het rookgas opnieuw werd opgewarmd in een warmtewisselaar (recuperatief systeem). Voor kleinschalige toepassingen wordt doorgaans een warmteherwinningssysteem met keramische bedden gebruikt (regeneratief proces).

De katalysator is aanwezig in de vorm van geëxtrudeerde blokken of in de vorm van korrels. Een aantal SCR-katalysatoren zijn ook geschikt om CO, TOC en dioxines te oxideren. In de praktijk vergt dit dat de gemiddelde verblijftijd van het rookgas in het katalysatorbed met een factor 2 à 5 verhoogd wordt en dat m.a.w. de hoeveelheid katalysator met dezelfde factor verhoogd wordt.

#### Toepassingsgebied

SCR is technisch toepasbaar op een brede range aan capaciteiten en alle typen van verbrandingsystemen. Wel stelt SCR hoge eisen aan de gebruikte brandstof, m.n. lage kalium, natrium, silicaat-, halogeen- en zwavelgehalten.

De toepasbaarheid is in de praktijk beperkt door de financiële haalbaarheid; naast de SCR is ook een investering in een ontstopping (omwille van mogelijk hoge gehalte K en Na in het stof dient er een goede ontstopping voorafgaand te worden geplaatst) en in een warmtewisselaar of warmteregeneratie nodig.

Een SCR werkt niet efficiënt als de operationele voorwaarden en de katalysatortemperatuur frequent fluctueren buiten de gegeven temperatuursrange. Vandaar dat deze techniek moeilijk toepasbaar is op installaties die vaak opstarten/stoppen en die een schommelende belasting hebben.

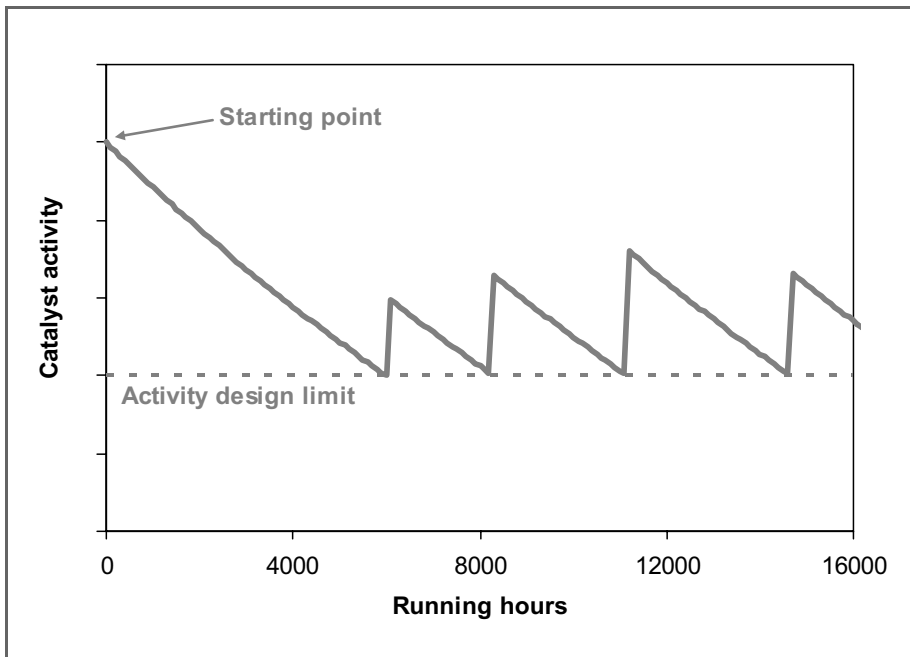
De aanwezigheid van Cl, K, Na en P kan de deactivatie van de katalysator versnellen t.o.v. installaties gestookt op fossiele brandstoffen

Indien de rookgassen SO<sub>2</sub> en/of HCl bevatten, kunnen er specifieke problemen zoals corrosie of vorming van kleverige afzettingen optreden door vorming van (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> of NH<sub>4</sub>Cl. Bij SCR is de vorming van (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dominant, omdat de SCR ook een deel van de SO<sub>2</sub> in de rookgassen oxideert tot SO<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Dit wordt in de praktijk vermeden door vooraf een groot deel van

zure componenten zoals  $\text{SO}_2$  en/of  $\text{HCl}$  te verwijderen of brandstofspecificaties op te leggen. SCR, zonder voorafgaande ontstopping, is hierdoor geen haalbare techniek voor installaties op vaste hernieuwbare fracties.

Deze deactivatie kan ook wat tegengehouden worden door voldoende katalysatormateriaal te voorzien. Met een overmaat aan katalysatormateriaal blijven de  $\text{NO}_x$ -emissies in essentie gelijk over de levensduur van de katalysator, met nauwelijks meetbare toename van ammoniak slip als teken van deactivatie.

Onderstaande figuur toont de deactivatie in functie van de tijd en het herwinnen van activatie bij vervangen van de katalysatorlagen. Deze figuur is opgemaakt voor palmolie met een  $\text{NO}$  emissieniveau van 58 ppm (of ca. 122 mg/Nm<sup>3</sup> bij 15%  $\text{O}_2$ ).



**Figuur 29:** Deactivatie van de katalysator in functie van de tijd en het herwinnen van de activiteit door vervanging van de katalysatorlagen (Wärtsila, 2007)

In Vlaanderen werden er al een aantal installaties gerapporteerd toegepast op een WKK met gasmotor. De ondergrens waarbij SCR moeilijk uitvoerbaar is, wordt ingeschat op 500 kWe. Wat houtgestookte installaties betreft werd één referentie teruggevonden in de range van 5-30MW.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de technische toepasbaarheid van deze maatregel.

Vaste	Vloeibare	Gasvormige	Nieuw	Bestaand	Klein	Middelgroot	Groot
+	+	(+)	+	+	(+)	+	+

## Milieuvoordeel

Bij SCR worden NO<sub>x</sub>-reducties van 80 tot 95% gerealiseerd (ANN., juni 2006), waarbij de hogere rendementen enkel haalbaar zijn voor nieuwe, grote installaties. Indien de SCR eveneens wordt uitgevoerd als een TOC- en dioxineverwijdering, worden voor deze stoffen reducties in de orde van 80-90% en voor stof tot 30% gerealiseerd.

Er is een kleine emissie van ammoniak via de rookgassen (niet gereageerd NH<sub>3</sub> m.a.w. de ammoniakslip en diffuse emissies bij levering en opslag van het reagens).

De katalysator om de 2 à 3 jaar worden vervangen en zorgt voor een specifieke afvalstroom.

## Financiële aspecten

Bij SCR liggen de *investeringskosten* aanzienlijk hoger dan voor SNCR. De kostprijs is sterk afhankelijk van de gebruikte biomassa; bij gasvormige en vloeibare brandstoffen zijn de technische moeilijkheden (stof, vervuiling, katalysator,...) minder groot dan bij vaste biomassa.

Verskillende bronnen en kostprijzen werden teruggevonden in de literatuur. In onderstaande paragrafen volgt een overzicht:

In de Vlaamse sectorstudie voor Chemie II (<http://www.lne.be/themas/luchtverontreiniging/informatie-studies>) worden investeringskosten gehanteerd van €19.750 x 175% eenmalige installatiekost per 1000Nm<sup>3</sup>rookgas per uur (middelgrote installaties).

De Vlaamse sectorstudie – Chemie III (<http://www.lne.be/themas/luchtverontreiniging/informatie-studies>) vermeldt volgende kostprijzen:

- 0,1 MWth: €25.000
- 1 MWth: € 150.000
- 10 MWth: € 850.000

Bij WKK motoren worden kosten aangegeven voor gegeven vermogen in kWth (ppo input<sup>16</sup>) (Derden et al, 2005):

- 300 kWth: 18.000 euro
- 2000 kWth 94.000 euro
- 3000 kWth 115.000 euro
- 5500 kWth 168.000 euro
- 8000 kWth 223.000 euro

Cogen Vlaanderen (pers. communicatie 2008) hanteert volgende kostprijzen voor installaties bij een gegeven vermogen in kWth (ppo input):

- 595kWth input: 59.700 euro
- 730 kWth input 64.000 euro
- 1021 kWth input 76.500 euro
- 1370 kWth input 76.500 euro
- 1867 kWth input 82.500 euro
- 2809 kWth input: 125.000 euro
- 3987 kWth input 156.500 euro
- 5818 kWth input 200.000 euro

<sup>16</sup> Voor omrekening van kWth input naar nominaal thermisch vermogen (kWth) wordt gemiddeld een rendement van 45% gehanteerd

- 8714 kWth input 295.000 euro
- 11636 kWth input 400.000 euro

De operationele kosten bedragen (uit Vlaamse sectorstudies 2002-2004):

- 0,5-2% van het elektrisch vermogen
- verbruik NH<sub>3</sub>-oplossing: 370-450 kg NH<sub>3</sub> per ton NOx aan 150 €/ton
- vervanging van de katalysator (gemiddeld om de vijf jaar) bedraagt ca 10% van de investeringskost

Vlaamse sectorstudie – chemie II ([http://www.lnc.be/themas/luchtverontreiniging/informatiestudies – Chemie II 2004](http://www.lnc.be/themas/luchtverontreiniging/informatiestudies-Chemie-II-2004)) vermelden een totale werkingskost van 2250 € per ton NOx verwijderd.

Voor grootschalige houtverbranding werden overall werkingskosten van 600-1500 euro/ton NOx verwijderd teruggevonden.

## TECHNISCHE FICHE 11

### Multi-cycloon

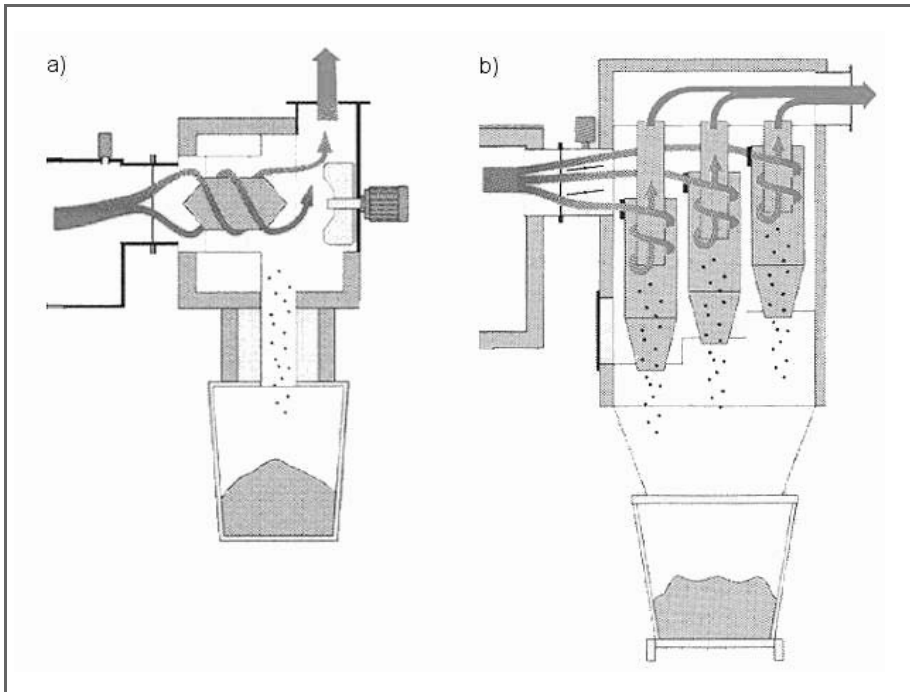
#### Beschrijving maatregel

*Proces/deelproces: Beperking van stofemissies*

*Beschrijving:* Een cycloon is een centrifugaalafscheider, waarbij de verontreinigde lucht hetzij tangentiaal hetzij axiaal in de afscheidingsruimte wordt gebracht. De intredende lucht wordt automatisch gedwongen om een snel ronddraaiende dubbele spiraalbeweging aan te nemen. Deze dubbele spiraalbeweging bestaat uit een buitenstroming, die spiraalvormig naar beneden stroomt en een binnenstroming, die spiraalvormig naar boven stroomt. Op het grensvlak van beide stromingen gaat de lucht van de ene stroming naar de andere. De deeltjes worden naar de buitenwand uitgeslingerd en verlaten de afscheider via een aan de onderzijde gesitueerde ontvangstruimte (Novem, 2000).

De centrifugaalkracht is, bijvoorbeeld door het verhogen van de ingangssnelheid van de luchtstroom, variabel en kan aanzienlijk groter zijn dan de zwaartekracht. Het is duidelijk dat met behulp van deze kracht een hoger rendement en daardoor een lagere restemissie kan worden verkregen dan met behulp van de zwaartekracht. Ook voor kleinere deeltjes, tussen 5 en 100  $\mu\text{m}$ , zijn uitvoeringsvormen beschikbaar met goede karakteristieken.

Cyclonen met een diameter onder 0,3 m worden niet meer afzonderlijk gebruikt maar worden in parallel samengebouwd tot multi-cyclonen. De aanstroming van het gas gebeurt niet meer tangentiaal, maar axiaal, waarna het gas via leidschoepen in werveling wordt gebracht. Een multicycloon is gevoelig voor een goede verdeling van het gas over de kleine cyclonen. Indien de verdeling niet correct is, kan terugstroming van het gas en verstopping optreden.



**Figuur 30:** Cyclonen: a) cycloon b) multicycloon (Novem, 2000)

“High throughput” cyclonen hebben een diameter van meer dan 1,5 m en zijn geschikt voor het afscheiden van deeltjes van 20  $\mu\text{m}$  en groter.

De “high efficiency” cyclonen (pencil cyclonen) hebben een diameter die ligt tussen 0,4 en 1,5 m en zijn toepasbaar voor het afscheiden van deeltjes van 10  $\mu\text{m}$  en groter.

*Andere types cyclonen zijn:*

**Elektrocyclonen:** Door het aanleggen van een elektrisch veld tussen het centrum en de wand van de cycloon wordt de drijvende kracht op de deeltjes naar de wand verhoogd waardoor een hoger afscheidingsrendement wordt bekomen.

“Secondary flow enhanced cyclone”: in een cilindrische behuizing wordt het primaire gas, het te reinigen gas, onderaan ingebracht met een draaibeweging. Door tangentiële inbreng van secundaire lucht bovenaan worden de centrifugale krachten op de deeltjes vergroot waardoor de verwijderingsefficiëntie wordt verhoogd. De secundaire lucht kan zuivere of gereinigde lucht zijn.

**Combinatie van multicycloon met doekenfilter:** dit is een combinatie van twee technieken namelijk, een multicycloon zoals hierboven beschreven als voorzuivering, en een doekenfilter (zie techniekblad 10) om het afgas vergaand te zuiveren.

**Condensatiecycloon:** deze cyclonen worden d.m.v. een koelmiddel gekoeld. Bij een bepaalde temperatuur, onder het dauwpunt, kunnen stoffen zoals vetten en water worden uitgecondenseerd en afgescheiden.

**Natte cycloon:** om het afscheidingsrendement van fijn stof (< 20  $\mu\text{m}$ ) te verhogen wordt water, juist voor de cycloon, in de aanvoerleiding cycloon verneveld. Het water bindt zich aan het fijne stof en wordt afgevoerd als een slurry.

Micronsep wringing separator: de werking van dit systeem is naast de vortex werking ook gebaseerd op het fenomeen van secundaire stromingen in een grenslaag. Het systeem bestaat uit een spiraalvormig binnenwerk dat in een omhulsel gelijkend op een cycloon wordt gebracht. Het systeem heeft een rendement van meer dan 99,5% voor deeltjes groter dan 1  $\mu\text{m}$  waardoor het zich onderscheidt van klassieke cyclonen (bron: LUSS techniekbladen).

### Toepassingsgebied

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de technische toepasbaarheid van deze maatregel.

Vaste	Vloeibare	Gasvormige	Nieuw	Bestaand	Klein	Middel-groot	Groot
+			+	+	+	+	+

Cyclonen werken niet voor deeltjes  $< 2\mu\text{m}$ , maar worden ingezet voor grotere stofpartikels en hoog beladen stromen. Deze techniek is wel gevoelig voor variaties in de belading van de rookgasstroom en debieten. Teerpartikels kunnen condenseren in de cyclonen. Voordelen zijn de grote bedrijfszekerheid en de hoge toelaatbare temperatuur (tot  $1000^{\circ}\text{C}$ ).

### Milieuvoordeel

Het rendement is afhankelijk van het aanbod aan stof en de constante rookgascondities die nodig zijn voor een goede verwijdering. Een afscheidingsrendement van 80-90% is haalbaar met restemissies van  $150 \text{ mg/Nm}^3$  bij  $11\% \text{O}_2$  (voor brandstoffen met een laag asgehalte  $< 0,5-1 \text{ gew.}\%$ ) (pers. communicatie Vyncke). Lagere emissies zijn niet mogelijk daar de aerosolen niet verwijderd kunnen worden.

Cyclonen zijn het meest efficiënt bij hoge luchtintredesnelheid, kleine cycloondiameter en grote cilinderlengte (pencil cyclonen).

Dit in tegenstelling tot de zogenaamde "high throughput" cyclonen, waarbij het grote debiet en dus de grotere afmetingen ten koste gaat van het rendement.

Er wordt veel onderzoek gedaan om de werking en afscheidingsgraad van cyclonen te verbeteren, o.a. door toepassen van een verbeterd inlaatstuk.

De energieverliezen worden hoofdzakelijk bepaald door de drukval over de cycloon en bedraagt ongeveer  $0,2 \text{ kWh}$  per  $1000\text{m}^3$  rookgas.

### Financiële aspecten

Voordeel van een multicycloon is de lage aanschaf- en bedrijfskost.

De investeringskosten liggen tussen  $\text{€ } 1.000$  en  $\text{€ } 1.500$  voor een capaciteit van  $1.000 \text{ m}^3/\text{h}$ . De werkingskosten bedragen ongeveer  $0,05$  tot  $0,2 \text{ €/}1000\text{m}^3$ . Het energieverbruik (ventilator) bedraagt  $0,5 \text{ kWh}$  per  $1000 \text{ m}^3$ .



## TECHNISCHE FICHE 12

### Electrofilter

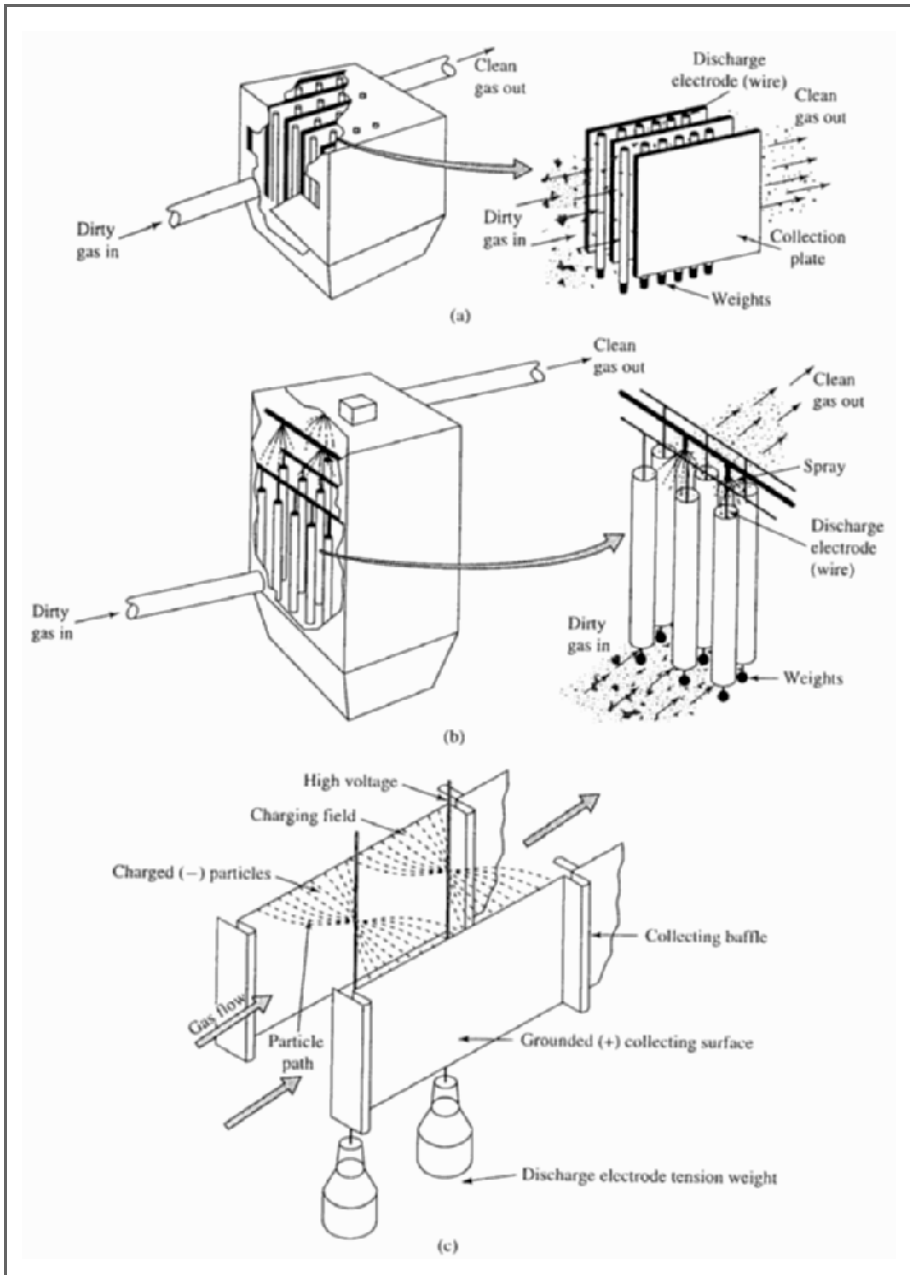
#### Beschrijving maatregel

*Proces/deelproces: **Beperking van stofemissies***

*Beschrijving:* Het werkingsprincipe van elektrostatische afscheiders berust op de afscheiding van vaste of vloeibare deeltjes onder invloed van een elektrisch veld.

Er bestaan zowel droge als natte elektrofilters. Bij de natte filters binden de deeltjes zich aan vloeistofdruppeltjes, welke vervolgens worden afgescheiden.

Vaste of vloeibare deeltjes in een gasstroom, die worden blootgesteld aan gasionen in een elektrisch veld, worden door botsing met deze gasionen opgeladen. Onder invloed van een elektrisch veld worden ze daarna uit de gasstroom afgebogen. De aldus afgescheiden deeltjes kunnen worden afgevangen op verzamelektroden of collectoren. Afvoer van het afgescheiden stof vindt plaats door de zwaartekracht (bij natte filters), of zoals bij vaste stoffen, door periodiek kloppen of trillen van de verzamelektroden, waarbij de afzetting als plakken of brokken van de verzamelektroden valt in een er onder geplaatste trechter.



**Figuur 31:** Elektrostatiese filter: a) plaattype, b) buistype, c) detail van een filterelement van het plaattype (S. Van Loo en J. Koppejan; 2007)

## Toepassingsgebied

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de technische toepasbaarheid van deze maatregel.

Vaste	Vloeibare	Gasvormige	Nieuw	Bestaand	Klein	Middel-groot	Groot
+			+	+		+	+

Met elektrofilters kunnen naast grof stof ook kleine stofdeeltjes afgevangen worden. Met natte filters ook de zeer kleine stofpartikels.

Elektrostatistische filters zijn goed gekend voor verwijdering van as uit rookgassen van energiecentrales, afvalverbrandingsinstallaties en vergelijkbare grootschalige toepassingen. Elektrofilters kunnen voor alle conversiesystemen worden gebruikt.

Deze filters zijn bestand tegen hoge afgastemperaturen (300-450°C), waardoor gebruik gemakkelijk is en onderhoud gering, bovendien worden ze gekenmerkt door lage drukverliezen (0,2-0,4 kPa). Een ander voordeel is dat stofdeeltjes tot 0,01 µm kunnen worden afgevangen.

Echter sommige stofpartikels, v.b. afkomstig van verbranding van stro, zijn moeilijk ioniseerbaar. Als de hoeveelheid partikels te klein is, komt deze daarenboven moeilijk los van de elektroden. De partikels kunnen dan mogelijk condenseren en zicht afzetten in de schouw.

## Milieuvoordeel

Elektrostatistische filters hebben een hoog afscheidingsrendement (> 95-99%). Restemissies van 30-50 mg/Nm<sup>3</sup> worden haalbaar geacht. De restemissies zijn afhankelijk van het stofaanbod en de stoffeigenschappen.

Teneinde de vorming van dioxines en furanen te voorkomen, moeten langere verblijftijden van rookgassen en stof in een temperatuursbereik van 250 tot 400 °C vermeden worden. Daaruit volgt dat een eventuele stofafscheiding bij temperaturen beneden 200°C moet gebeuren.

Bij gebruik van natte elektrofilters ontstaat er ook een afvalwaterproblematiek.

## Financiële aspecten

De investeringskosten en operationele kosten uit verschillende literatuurbronnen zijn hieronder samengevat. Ecolas (Ecolas, 2006) geeft een kostenvork van 8.9 tot 40 €/kWth, Novem (Novem, 2000) geeft een investeringskost van € 185.000 voor droge E-filter en € 345.000 voor natte E-filter op een installatie van 1 MWth en 1900 Nm<sup>3</sup>/h. Vyncke en Typhoon geven hierbij eerder een kost van € 150.000 voor 1 MWth en € 280.000 voor 3MWth

De energiekost bedraagt 0,2-0,3 kWh per 1.000 m<sup>3</sup> en is grotendeels het gevolg van het opwekken van de elektrische velden tussen de elektrodes. De overige werkingskosten zijn personeel, onderhoud en afvoer van vliegias. De totale werkingskosten variëren sterk van toepassing tot toepassing. Ze variëren van 1.500 tot 25.000 euro per jaar per 1.000 Nm<sup>3</sup>/h capaciteit, waarbij de hoogste waarden typisch zijn voor onderhoudsintensieve toepassingen (corrosieve gassen, kleverig stof,...). Ecolas geeft operationele kosten van 0,03-0,35 €/kWth.jaar (Ecolas, 2006).

## TECHNISCHE FICHE 13

### Doekfilter

#### Beschrijving maatregel

*Proces/deelproces: Beperking van stofemissies*

*Beschrijving:* Een doekfilterinstallatie bestaat in principe uit een omkasting waarin een filtermedium (het doek) is aangebracht. Door dit doek wordt de omkasting van de filter verdeeld in een zogenoemd ‘vuil’ deel en een ‘schoon’ deel. Het vuile deel, waar de met stof beladen lucht binnen komt, bevindt zich meestal aan de onderzijde of op het middengedeelte van de omkasting. De binnenkomende lucht stroomt meestal niet rechtstreeks naar de filters, maar wordt afgeleid door één of meerdere verdeelplaten. Het doel hiervan is een betere verdeling over de doeken te bewerkstelligen waardoor deze meer gelijkmatig worden belast. Tevens verliest de lucht een groot gedeelte van zijn kinetische energie, waardoor een voorafscheiding plaatsvindt onder invloed van de zwaartekracht.

De met stof verontreinigde lucht wordt door de doekfilter geleid en daardoor van de stofdeeltjes ontdaan. Het stof wordt door kloppen (schudmechanisme) of blazen (terugblaassysteem of d.m.v. perslucht) periodiek van de filter verwijderd en verzameld in een onder de filterinstallatie geplaatste trechter.

Er wordt onderscheid gemaakt tussen twee soorten van doekfiltersystemen, aangeduid als laagbelaste of hoogbelaste filters. Het onderscheid berust op de hoeveelheid lucht die per eenheid doekoppervlak per tijdseenheid kan worden gereinigd

Het doekmateriaal kan verdeeld worden in twee groepen, namelijk weefsel en vilt. Een weefsel is een tweedimensionaal netwerk en kan op diverse manieren worden geweven, waardoor verschil ontstaat in plooibaarheid en permeabiliteit. Verder worden de eigenschappen van het weefsel beïnvloed door kenmerken van de draad of vezel, de oppervlaktebehandeling en de coating. De filterwerking van een weefsel wordt sterk bepaald door de op het doek opgebouwde filterkoek.

De vilten die voor rookgasreiniging worden gebruikt bestaan uit een grofmazig steunweefsel, waarop vezels worden ingestanst. Door het driedimensionale netwerk van de vezels vertoont vilt op zichzelf een goede filtrerende werking. Door de hogere mechanische sterkte van vilt ten opzichte van weefsel is een hogere doekbelasting mogelijk, waardoor een kleinere filterinstallatie toereikend is.

De doekmaterialen kunnen in diverse kwaliteiten geleverd worden, met name de dikte en het specifieke gewicht kunnen variëren.

#### Toepasingsgebied

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de technische toepasbaarheid van deze maatregel.

Vaste	Vloeibare	Gasvormige	Nieuw	Bestaand	Klein	Middel-groot	Groot
+			+	+	+	+	+

Doekfilters werken voor zowel grove als fijne deeltjes (< 1µm).

Doekfilters kunnen in principe bij alle typen verbrandingssystemen toegepast worden. Er moet rekening gehouden met de maximale rookgastemperatuur (550°C voor metaalvezel, 280°C voor glasvezel en 250°C voor kunststof). Er moet altijd een vonkvanger voor het doekfilter worden geschakeld. Indien er chloor aanwezig is in de rookgassen wordt een minimale temperatuur van 180°C aangehouden om condensatie en corrosie/perforatie van de doeken te vermijden.

De standtijd van een doekfilter is gering (2 à 3 jaar) en wordt beperkt door de levensduur van het filtermedium. Dit moet na verloop van tijd vervangen worden.

### **Milieuvoordeel**

Doekfilters hebben een hoog verwijderingsrendement (98 tot 99,9%). Stofemissies worden bepaald door de dimensionering en het gebruikte filtermateriaal en kunnen in optimale omstandigheden beperkt worden tot < 10 mg/Nm<sup>3</sup>. De restemissie is onafhankelijk van de inkomende concentratie (bron: LUSS techniekbladen)

### **Financiële aspecten**

De kostprijs van een doekfilter kan variëren afhankelijk van het type, gebruikte materiaal, ed.

De investeringskosten liggen tussen € 4.000 en € 50.000 voor een capaciteit van 1.000m<sup>3</sup>/h (info sectorstudie Chemie II). Voor een installatie van 1MWth, 1900Nm<sup>3</sup>/h, geeft Novem (Novem, 2000) een investeringskost van € 150.000.

Het energieverbruik (exl. ventilator) bedraagt 0,2-2 €/kWh per 1000 m<sup>3</sup>.

Overige werkingskosten zijn personeel, onderhoud en afvoer vliegassen. De voornaamste onderhoudskost is de vervanging van de filterdoeken, met een levensduur van typisch 2-3 jaar. De werkingskosten bedragen 3.000 tot 16000 € per 1000 Nm<sup>3</sup>/uur.

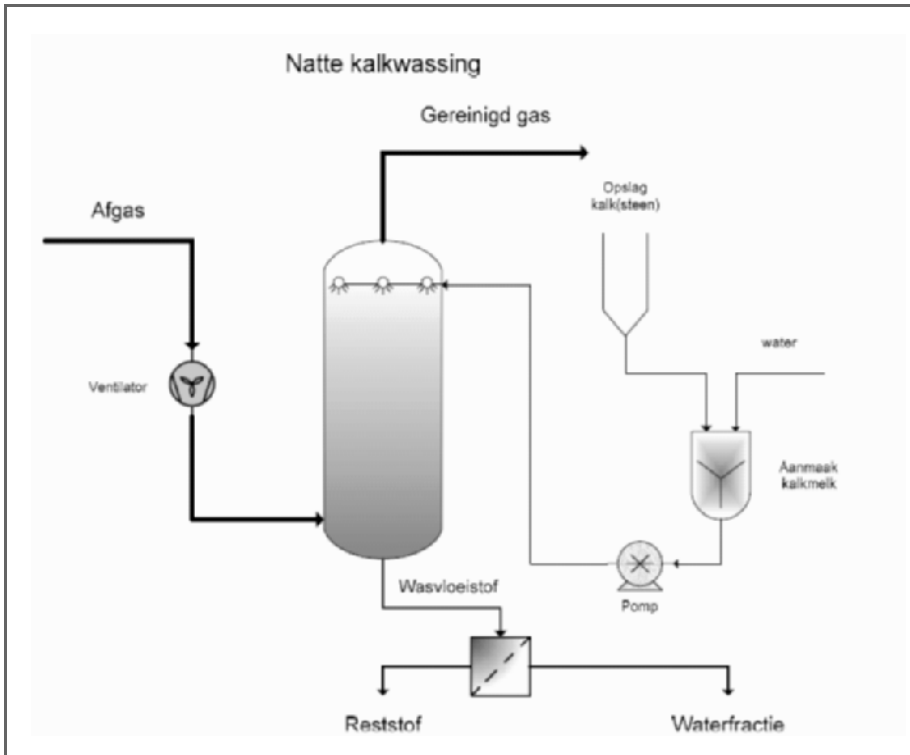
## TECHNISCHE FICHE 14

### Natte kalk/kalksteenwassers

#### Beschrijving maatregel

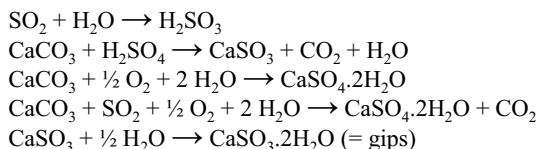
Proces/deelproces: *Beperking van SO<sub>2</sub>-emissies*

Beschrijving: Het kalk/kalksteenproces is het meest gebruikte rookgasontzwavelingssysteem, dat tevens HCl en HF verwijderd.



Kalksteen wordt meestal gebruikt daar het in grote hoeveelheden verkrijgbaar is en 3 tot 4 maal goedkoper is dan andere reagentia. Kalk werd in de oudere installaties gebruikt voor zijn betere reactiviteit met SO<sub>2</sub>. Kalk is vervangen door kalksteen om de hoge kosten van het calcineren van de kalksteen, welke zeer energie intensief is, te vermijden. Met kalksteen is eenzelfde SO<sub>2</sub>-verwijdering mogelijk als met kalk.

Rookgas dat de ontzwaveling verlaat, passeert meestal eerst een warmtewisselaar voordat het de ontzwavelingsinstallatie binnenkomt, waar het SO<sub>2</sub> wordt verwijderd door direct contact met een waterige suspensie van fijne kalksteen. De reactieproducten worden uit de absorber verwijderd en naar een ontwatering gestuurd. In de kalksteenwassers treden volgende reacties op:



### Toepassingsgebied

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de technische toepasbaarheid van deze maatregel.

Vaste	Vloeibare	Gasvormige	Nieuw	Bestaand	Klein	Middel-groot	Groot
+			+	+		+	+

### Milieuvoordeel

Een kalk/kalksteen natte wasser verwijderd tot 85-98% SO<sub>2</sub>, en tot 95-97% HCl en 80-95% HF, die samen met het afvalwater worden behandeld.

### Financiële aspecten

De Vlaamse sectorstudie – Chemie III (<http://www.lne.be/themas/luchtverontreiniging/informatie-studies>) vermeldt volgende kostprijzen:

- 0,1 MWth: €16.000
- 1 MWth: € 90.000
- 10 MWth: € 510.000

In andere Vlaamse sectorstudies wordt een investeringskost van 2.000-30.000 € per 1000Nm<sup>3</sup>/uur vermeld.

De operationele kosten bedragen (uit Vlaamse sectorstudies 2002-2004):

- personeel € 5000
- elektriciteit: 150 € per 1000Nm<sup>3</sup>/uur
- rest en hulpstoffen (zonder additief) 210 € per 1000 Nm<sup>3</sup>/uur
- additief: 4,43 ton per ton SO<sub>2</sub> aan 45 €/ton

De LCP BREF (ANN., juni 2006) vermeldt kostprijzen van 35-50 €/kW<sub>el</sub>, met een operationele kost tussen 0,2-0,3 €/kWh (energie input).

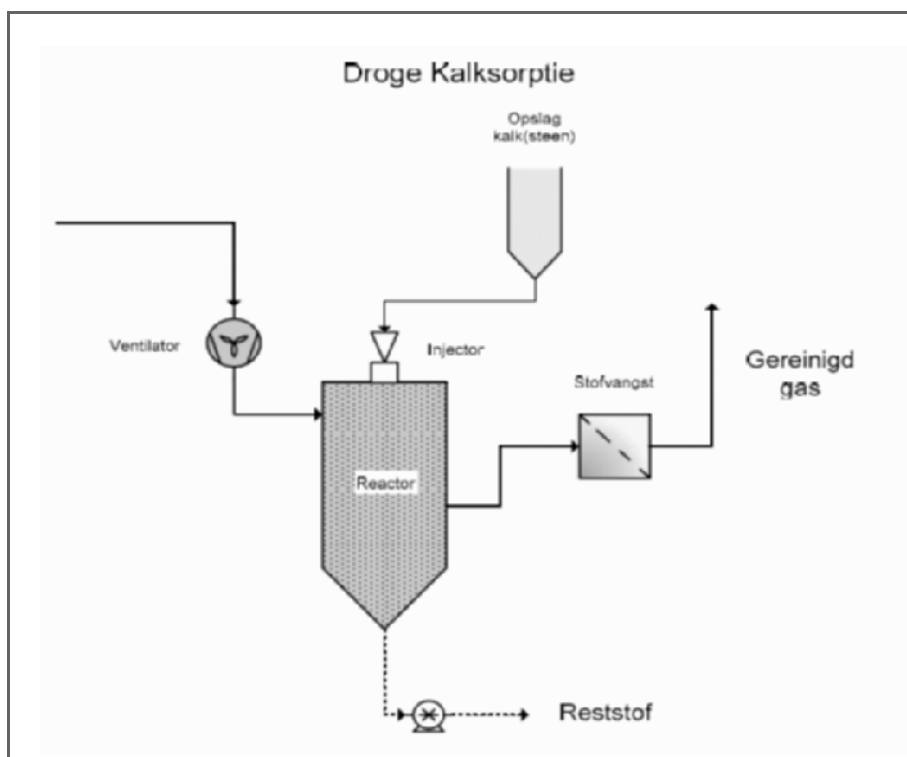
## TECHNISCHE FICHE 15

### Droog sorbent injectie

#### Beschrijving maatregel

Proces/deelproces: *Beperking van SOx-emissies*

*Beschrijving:* Bij droge rookgasreiniging wordt kalk of kalksteen in droge vorm verstoven in de rookgasen. De reactie tussen de droge kalk of kalksteen en de zure componenten in de rookgasstroom vindt plaats in een reactor en gedeeltelijk in de nageschakelde stofafschrijving, nadat de verontreinigingen aan de kalk zijn geabsorbeerd door chemisorptie.



De reactor is nodig om een voldoende lange reactietijd, van enkele seconden, tussen de chemicaliën en de verontreiniging in de rookgasstroom te garanderen. De injectie van de kalk wordt soms in de reactor uitgevoerd. Het is echter ook mogelijk kalk voor de reactor in de rookgasstroom te injecteren.

Bij gebruik van een doekenfilter voor de verwijdering van het reactieproduct, vindt een beter contact plaats tussen de kalk en de gasvormige verontreiniging dan bij een elektrofilter.



Bij de dimensionering van de reactor en ook bij de bepaling van de noodzakelijke overmaat aan chemicaliën is de keuze van de emissiebeperkende techniek voor verwijdering van het stof dus van groot belang. De reactie speelt zich af na absorptie van de gasvormige verontreiniging aan de kalk. Vanwege het geringe contactoppervlak is de noodzakelijke overmaat aan chemicaliën veel groter dan bij semi-droge reinigingsmethode. Tegelijk met de afscheiding van de droge reactieproducten en de overmaat aan chemicaliën kan ook de stofvormige verontreiniging worden afgescheiden.

### Toepassingsgebied

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de technische toepasbaarheid van deze maatregel.

Vaste	Vloeibare	Gasvormige	Nieuw	Bestaand	Klein	Middel-groot	Groot
+			+	+	+	(+)	(+)

Dit proces is toepasbaar voor laag zwavelige brandstoffen en in kleinere installaties. Dit proces is relatief eenvoudig en vraagt dus slechts beperkt onderhoud. Voor verbranding van vaste hernieuwbare brandstoffen geeft het gebruik van droge injectie van kalk voor de doekfilter reeds voldoende reductie.

### Milieuvoordeel

De verwijderingsefficiëntie is afhankelijk van verschillende factoren zoals:

- temperatuur
- de molaire verhouding tussen verontreinigende component en sorbens
- de manier van dispergeren van het sorbens
- de aangewende techniek voor stofvangst

Courante verwijderingsrendementen zijn:

SO<sub>x</sub>: 70-90%

HCl: 50-75%

HF: 10-40%

Het energieverbruik is afhankelijk van het stofafscheidingssysteem. De gebruikte chemicaliën worden met de afgescheiden verontreiniging gedeeltelijk gerecycled.

### Financiële aspecten

De kosten van deze techniek zijn lager dan voor natte wassers (ca. 30-50% van de kosten van een natte wassing). De LCP BREF (ANN., juni 2006) vermeldt kostprijzen van 18-25 €/kWel, met een operationele kost tussen 0,5-0,7 €/kWh (energie input).

De Vlaamse sectorstudie – Chemie II (<http://www.lne.be/themas/luchtverontreiniging/informatie-studies>) vermeldt een investeringskost van € 8.000-10.000 per 1000Nm<sup>3</sup>/uur.

De operationele kosten bedragen (uit Vlaamse sectorstudies 2002-2004):

- personeel € 2.500
- elektriciteit: 150 € per 1000Nm<sup>3</sup>/uur
- rest en hulpstoffen (zonder additief) 150 € per 1000 Nm<sup>3</sup>/uur
- additief: 4,43 ton per ton SO<sub>2</sub> aan 45 €/ton

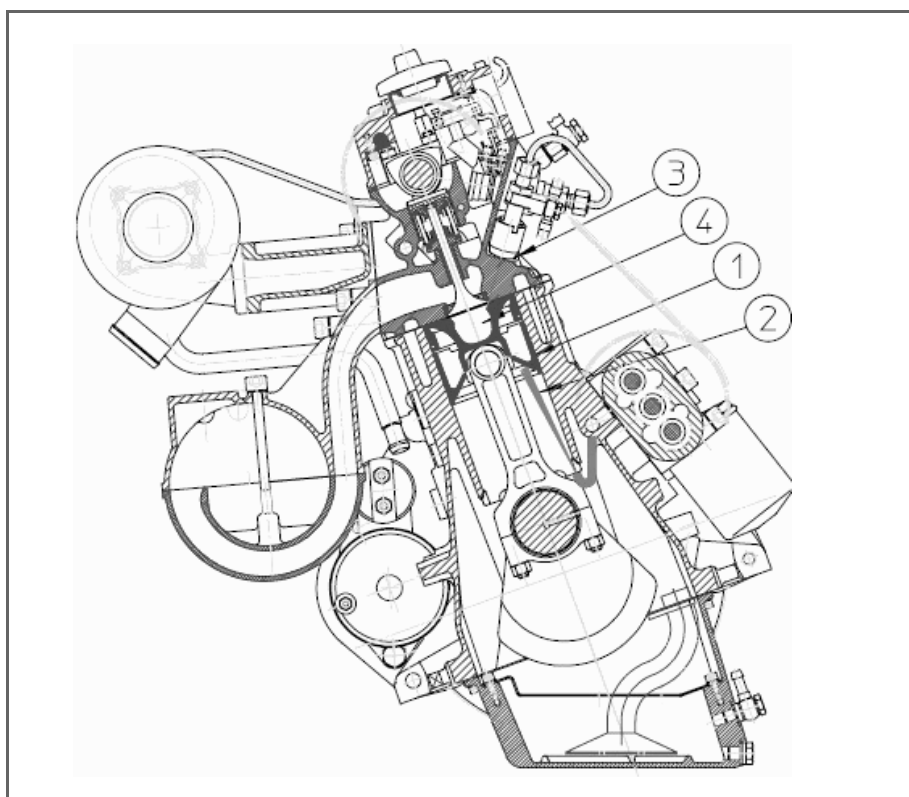
## TECHNISCHE FICHE 16

### Elsbett motor

#### Beschrijving maatregel

*Proces/deelproces: Verbranden van vloeibare hernieuwbare brandstoffen*

*Beschrijving:* De Elsbett motor is speciaal ontwikkeld voor het succesvol gebruik van plantaardige oliën. De specifieke onderdelen die deze motor onderscheiden van anderen, worden in onderstaande figuur beschreven:



***Figuur 32: De Elsbett motor***

#### 1. Elsbett zuiger

De zuiger bestaat uit twee delen die met elkaar verbonden zijn via de zuigerpin:

- de zuigerkop, gemaakt van nodulair ijzer
- de zuigerstang, gemaakt uit aluminium

De zuigerkop bevat de ringen en zijn functie is om de compressie te verwezenlijken en om de verticale krachten op te vangen die veroorzaakt worden door de expansie van de gassen.

Het gebruik van nodulain ijzer zorgt voor minimale thermische expansie en heeft zeer lage warmte geleidingseigenschappen.

De wandoppervlakte van de verbrandingskamer is vrij klein, dit om de warmtestroom te beperken en dus op die manier een onnodige oververhitting van het materiaal te vermijden. De zuigerstang vangt de laterale krachten op en zorgt voor de koeling van de interne cilinderwand door de verdeling van smeerolie. Om deze reden is het ook voorzien van geleidingsbanen en is het gemaakt van aluminium.

## 2. Elsbett koeling systeem

De Elsbett motor heeft een rendement van ongeveer 40 tot 43%. Deze prestatie is vooral mogelijk door een verhoging van het thermische evenwicht van de motor waardoor minder warmte verloren gaat. En deze warmte is uiteraard essentieel bij het gebruik van palmolie. Opmerkelijk bij deze motor is dat men wel gebruik kan maken van directe injectie en dus ook geen voorkamer heeft. Een voorkamer voor de verbranding verliest ongeveer 30% van zijn energie via het koelingsysteem naar de radiator. Bij een Elsbett motor is dit slechts 14 tot 16%.

Bij de Elsbett motor wordt de warmte enkel gekoeld door de smeerolie waardoor waterradiatoren en luchtkoeling dus niet meer nodig zijn. Bovendien heeft dit als bijkomend voordeel dat olie voor een veiligere koeling van de motor zorgt aangezien het voorbij het kookpunt van water werkt en dus op die manier ook de thermische spanningen in de motor vermindert. Andere voordelen zijn: olie kookt niet gemakkelijk, veroorzaakt geen interne corrosie of cavitatie en bereikt heel snel zijn werkingstemperatuur.

Het lagere gedeelte van de zuiger wordt gekoeld door olie jets. Deze jets koelen de interne wanden van de cilinders en tevens de onderste kop van de zuiger. De olie zelf wordt gekoeld door een externe radiator.

## 3. Elsbett brandstof injectiesysteem

De brandstof wordt plaatselijk en tangentieel in de centrale ruimte van de verbrandingskamer geïnjecteerd. Dit proces vermijdt dat de brandstof contact zou maken met de wanden en dus minder verlies van warmte veroorzaakt. Daarom hebbende verstuivers ook maar één opening en staan ze opgesteld in een specifieke positie en hoek.

Grotere motoren zijn tevens uitgerust met een tweevoudig injectiesysteem om de emissies te verminderen. Elke cilinder is voorzien van twee verstuivers die tangentieel symmetrisch opgesteld staan. Door een tweede verstuiver te plaatsen is het mogelijk om de ontsteking te vertragen tot 50% en vermindert dan op zijn beurt ook de schadelijke emissies.

## 4. Elsbett thermisch verbrandingssysteem

Het doel van dit systeem is te voorkomen dat er verlies zou zijn aan bruikbare energie in de vorm van warmte buiten de verbrandingskamer. Daarom is de warmte geconcentreerd in de kamer zodat het niet de wandoppervlakte bereikt en verloren gaat in de radiator. Het Elsbett verbrandingssysteem is gebaseerd op het principe dat de lucht in de verbrandingskamer circuleert en zichzelf ordent in

verschillende lagen overeenkomstig de verschillen in warmte en dichtheid, m.a.w. door vorming van een centrale plaats met de verbranding van warme lucht en een externe omliggende laag van koelere lucht. De verbrandingskamer moet sferisch van vorm zijn en gelokaliseerd in de zuiger zelf. De vorm is zodanig dat de inkomende lucht cirkelvormige bewegingen maakt.

**Toepassingsgebied**

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de technische toepasbaarheid van deze maatregel.

Vaste	Vloeibare	Gasvormige	Nieuw	Bestaand	Klein	Middel-groot	Groot
	X		X		X	X	

De Elsbett motor is een speciaal ontwikkelde motor voor de verbranding van vloeibare hernieuwbare oliën.

**Milieuvoordeel**

Het gebruik van de Elsbett motor brengt met name een energievoordeel met zich mee. De motor heeft een rendement van ongeveer 40 tot 43%. Dit systeem is ontwikkeld om verlies aan bruikbare energie in de vorm van warmte buiten de verbrandingskamer te voorkomen.

**Financiële aspecten**

De inschatting van de financiële aspecten dient op het niveau van de individuele onderneming te gebeuren.

## TECHNISCHE FICHE 17

### Gasmotor

#### Beschrijving techniek

*Proces/deelproces: Verbranden van gasvormige hernieuwbare brandstoffen*

*Beschrijving:* (Bron: [http://www.btgworld.com/2005/html/news/documents/BTG-FactsheetGasmotor\\_20-02-2007.pdf](http://www.btgworld.com/2005/html/news/documents/BTG-FactsheetGasmotor_20-02-2007.pdf))

De normale gasmotor werkt volgens het viertaktprincipe, waarbij een zuiger in een cilinder vier werkslagen kent. Bij de aanzuigslag wordt een mengsel van brandstofgas en lucht aangezogen. De inlaatklep staat dan open. In de compressieslag zijn de kleppen gesloten en wordt het mengsel samengeperst. Vlak voor het eind van deze slag wordt het mengsel met de bougie ontstoken. Het mengsel verbrandt, waarbij druk en temperatuur snel stijgen. In de expansieslag wordt de arbeid geleverd. Daarna wordt het mengsel in de vierde slag van de zuiger bij geopende uitlaatklep afgevoerd naar het uitlaatsysteem.

Moderne gasmotoren hebben vaak een turbocharger. De hete uitlaatgassen drijven dan via een expansieturbine een luchtcompressor aan. Daardoor kan de motor aanzienlijk meer vermogen leveren en neemt ook het rendement toe. Bij veel turbogasmotoren worden verbrandingslucht en brandstof gemengd, voordat de lucht door de turbo in druk wordt verhoogd. Daardoor behoudt men een belangrijk voordeel van de gasmotor. Dat is de geringe gasdruk, die nodig is om de motor te laten werken.

Het vermogen van de gasmotor wordt geregeld met een smoorklep in de inlaat van de verbrandingslucht. Het rendement aan de as van de motor is afhankelijk van type brandstof. Aardgas bestaat vrijwel volledig uit methaan, biogas bevat een aanzienlijk deel CO<sub>2</sub> terwijl synthesesgas veel waterstof bevat wat snel ontsteekt. Afhankelijk van het type brandstof moet het ontstekingsstijdstip worden bijgesteld. De warmte van het motorkoelwater, de oliekoeler, de uitlaatgassen en de intercooler bij een turbo kunnen worden benut voor verwarming. De gasmotor is een bewezen technologie, echter op gasvormige brandstoffen afkomstig uit biomassa dienen m.n. stofdeeltjes, teer, halogenen en zuren te worden verwijderd.

#### Toepassingsgebied

De gasmotor wordt wereldwijd in grote aantallen toegepast op stortgaslocaties, offshore, etc. Door de jaren is de gasmotor steeds verder ontwikkeld en door de seriematige productie zijn de kosten lager dan bij andere opkomende technologieën zoals ORC en Stirlingmotoren. Andere voordelen zijn:

- grote mogelijke range van capaciteiten (5 kW tot enkele MW)
- regelbaar vermogen
- zowel mobiel als stationair toepasbaar
- ideaal voor zelfaandrijvende applicaties waar snelle verandering van vermogen is vereist
- toepasbaar voor diverse brandstoffen.

De hoeveelheid H<sub>2</sub>S in biogas moet worden teruggebracht tot <1000 ppm om corrosie te voorkomen. Ook het verwijderen van waterdamp uit het biogas zal de kwaliteit van het proces verbeteren. Andere nadelen zijn:

- relatief veel onderhoud nodig
- het hoge geluidsniveau: 50-65 dBa, effectieve geluidsisolatiemaatregelen zijn noodzakelijk
- relatief hoge emissies t.o.v. andere WKK systemen. De verbranding in gasmotoren is nooit volledig: de zuigers kennen een zg. ‘slip’ waardoor een klein deel (ca. 1%) de cilinder onverbrand verlaat. Zo bevat synthesegas een aanzienlijk deel CO en zal de CO emissie aanzienlijk zijn (1000 ppm) mits geen maatregelen worden getroffen.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de technische toepasbaarheid van deze maatregel.

Vaste	Vloeibare	Gasvormige	Nieuw	Bestaand	Klein	Middelgroot	Groot
		+	+	+	+	+	

### Milieuvoordeel

Gasmotoren leveren i.h.a. weinig emissies. Door de grote aantallen zijn de eisen echter vrij streng en levert afhankelijk van type gas soms problemen met NOx en CO. Er zijn twee mogelijke oplossingen om deze emissies te beperken; een drieweg-katalysator (alleen mogelijk bij stoichiometrische verbranding;  $\lambda=1$ , deze techniek wordt weinig meer toegepast) of relatief meer toevoer van lucht (arm mengsel verbranding;  $\lambda>1$ ) waardoor de verbrandingstemperatuur daalt en daarmee de thermische NOx.

Emissies van motoren worden veelal gerelateerd aan de lambda factor; de verhouding gas ten opzichte van de lucht. Lambda = 1 betekent exact de benodigde hoeveelheid lucht tov de hoeveelheid brandstof, de stoichiometrische hoeveelheid. Een lambda factor van 1,7-1,8 (70-80% lucht overmaat) is vrij gebruikelijk. Verder is het belangrijk om de emissies te relateren aan de hoeveelheid zuurstof in the uitlaatgassen.

In de praktijk is de uitstoot  $< 500 \text{ mg/Nm}^3$  en voor CO  $< 650 \text{ mg/Nm}^3$ ; NMHC  $< 150 \text{ mg/Nm}^3$  bij 5% O<sub>2</sub>.

### Financiële aspecten

Investeringskosten zijn met 500 a 1400 € per kWe laag.

## TECHNISCHE FICHE 18

### Dieselmotor

#### Beschrijving techniek

*Proces/deelproces: Verbranden van vloeibare hernieuwbare brandstoffen*

*Beschrijving:* (bron: [http://www.btgworld.com/2005/html/news/documents/BTG-FactsheetDieselmotor\\_20-02-2007.pdf](http://www.btgworld.com/2005/html/news/documents/BTG-FactsheetDieselmotor_20-02-2007.pdf))

Een zuigermotor werkt volgens het principe van zelfontbranding; onder hoge druk (> 200 bar) wordt een brandstof dermate warm dat zelfontbranding ontstaat. Het grootste verschil met de gasmotor is dat er geen aparte ontsteking nodig is; daarentegen is er wel altijd een apart inspuitmechanisme nodig (in de vorm van een hogedruk-inspuitpomp) of bij de wat modernere motoren onder zeer hoge druk via injectoren.

Viertakt dieselmotoren werken volgens hetzelfde principe als viertaktgasmotoren:

- Een inlaatslag, waarbij de zuiger naar beneden gaat en door de geopende inlaatklep lucht wordt aangezogen, dus geen brandstof/lucht mengsel.
- Een compressieslag (zuiger omhoog), waarbij de lucht wordt samengedrukt (gecomprimeerd). De compressieverhouding is zeer hoog waardoor de lucht heet genoeg wordt om de brandstof spontaan te laten ontbranden. Aan het einde van de compressieslag (kleinste volume) wordt de brandstof ingespoten.
- Een arbeidsslag (zuiger weer omlaag): de zuiger wordt door de ontstane verbrandingsdruk omlaag geduwd.
- Een uitlaatslag (zuiger omhoog): de uitlaatgassen ontsnappen door de uitlaatklep, geholpen door de omhooggaande zuiger.

Omdat elke op- of neergaande beweging van de zuiger een slag genoemd wordt, is dit dus een vierslag- of viertaktmotor. In een tweetaktmotor is er een arbeidsslag en uitlaatslag; het binnenkomende verse mengsel zal de uitlaatgassen verdrijven.

In stationair draaiende motoren waarmee warmte en/of elektriciteit wordt opgewerkt, kan diesel worden vervangen door dierlijke en/of plantaardige vetten en oliën of door biodiesel.

Dit is bewezen technologie, de aanpassingen die hiervoor nodig zijn aan de motoren zijn relatief klein. Dieselmotoren kunnen ook als “dual-fuel” mode opereren (diesel-gas mengsel) waarbij een klein deel diesel (ca. 20%) benodigd blijft voor de ontsteking. Een illustratie over de werking van de dieselmotor is te vinden op: [http://www.walburgcollege.nl/vakken/natuurkunde/ntnujava/diesel\\_nl/diesel\\_nl.html](http://www.walburgcollege.nl/vakken/natuurkunde/ntnujava/diesel_nl/diesel_nl.html).

#### Toepassingsgebied

De dieselmotor wordt wereldwijd in grote aantallen toegepast in met name de auto industrie, maar ook voor stationaire doeleinden. Door de jaren heen is de dieselmotor steeds verder ontwikkeld en door de seriematige productie zijn de kosten lager dan bij andere opkomende technologieën zoals ORC en Stirling motoren. Andere voordelen zijn:

- grote mogelijke range van capaciteiten (50 kW tot enkele MW)
- regelbaar vermogen

- robuuster dan gasmotoren en iets hoger rendement vanwege de hogere compressieverhouding
- zowel mobiel als stationair toepasbaar
- ideaal voor zelfaandrijvende applicaties waar snelle verandering van vermogen is vereist
- ‘dual fuel’ bedrijf mogelijk vanaf een minimum aandeel olie voor ontsteking tot maximaal vermogen met 100% dieselolie

Dieselmotoren kennen een aantal nadelen die overeenkomen met gasmotoren, zoals onderhoud, emissies, geluid. Belangrijk verschil is echter de hogere uitstoot van roetdeeltjes en NOx welke nadelig zijn voor de volksgezondheid.

### **Milieuvoordeel**

Een dieselmotor heeft ten opzichte van een benzinemotor meer schadelijke emissie van roetdeeltjes en stikstofoxiden. Roetfilters vangen de roetdeeltjes op en verbranden die bij verzadiging bij hoge temperatuur. Biodiesel bevat normaliter geen zwavel en dus zal de vorming van SOx achterwege blijven in vergelijking met fossiele diesel.

Het rendement van een dieselmotor is hoger dan van een benzinemotor, daarom is het brandstofverbruik bij gelijkblijvende prestaties lager, en daarmee ook de emissie van koolstofdioxide. Naar verwachting zal de combinatie van biodiesel en hoog rendement verbranding de dieselmotor in de toekomst een belangrijke plaats geven in het terugdringen van milieubezwaren van de automobiel. Voor stationaire micro-WKK toepassing zal de dieselmotor waarschijnlijk geen grote rol spelen.

### **Financiële aspecten**

Kosten zijn gelijk aan een gewone diesel installatie, tussen de 500 en 1400 € per kW<sub>e</sub>.



## TECHNISCHE FICHE 19

### Gasturbine

#### Beschrijving techniek

*Proces/deelproces: Verbranden van gasvormige hernieuwbare brandstoffen*

*Beschrijving:* Net als bij conventionele gasturbines wordt lucht aangezogen en gecompriemd, waarna door verbranding van het gas of olie de temperatuur sterk wordt verhoogd en de hete gassen vervolgens expanderen in de turbine. Hierbij dient de ingaande brandstof op druk te worden gebracht (3-8 bar) en wordt een overmaat aan lucht (6 tot 8 keer meer dan de stoichiometrische verhouding) toegevoerd. Hierdoor kunnen verschillende brandstoffen worden toegepast, zoals laagcalorisch biogas, stortgas en zelfs ruw (en vochtig) aardgas. (www.BTG World.com).

De uitlaatgassen van de expansieturbine hebben nog een temperatuur van 350 tot 550°C; deze temperaturen laten toe om warmte in de vorm van bijvoorbeeld hoge druk stoom te recupereren (warmtekrachtoepassing).

Gasturbines bevinden zich doorgaans in de vermogensrange van enkele MWe tot meer dan 200 MWe en zijn dus wat vermogensgrootte betreft eerder complementair aan verbrandingsmotoren dan concurrentieel.

Voor elektriciteitsproductie kunnen gasturbines momenteel aangewend worden in simple cycle toepassingen, momenteel is echter de gecombineerde cyclus (STEG) waarbij de rookgassen gebruikt worden om stoom (en vervolgens elektriciteit) te produceren zeer populair omwille van het verhoogde rendement.

Het elektrisch rendement van kleinere gasturbines is aanzienlijk lager dan dit van verbrandingsmotoren in dezelfde vermogensrange.

#### Toepassingsgebied

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de technische toepasbaarheid van deze maatregel.

Vaste	Vloeibare	Gasvormige	Nieuw	Bestaand	Klein	Middel-groot	Groot
		+	+	+	+	+	

#### Milieuvoordeel

Volgens opgave van de fabrikanten zijn de emissies van aardgasgestookte microturbines (www.btgworld.com):

- NO<sub>x</sub> < 19-31 mg/Nm<sub>3</sub> bij 15% O<sub>2</sub>,
- CO < 19 mg/Nm<sub>3</sub> bij 15% O<sub>2</sub>

#### Financiële aspecten

Investeringskosten met biomassa als brandstof, liggen tussen de 1500 € en 2000 € per kWe tot zo'n 2700 €/kWe, gebruiksklaar.

## TECHNISCHE FICHE 20

### Stookketel

#### Beschrijving techniek

*Proces/deelproces: Verbranden van vloeibare hernieuwbare brandstoffen*

*Beschrijving:* De eenvoudigste stookinstallatie is een gewone kachel, bestaande uit een verbrandingsruimte waarin warmte wordt opgewekt die door straling en convectie weer aan de omgeving wordt afgedragen. Bij bv. centrale verwarmingsinstallaties en elektriciteitscentrales wordt de verbrandingswarmte opgenomen door een medium (meestal water), dat de energie elders weer afgeeft.

Voor een goede werking is er brandstof en lucht nodig. Bij stookinstallaties die met vloeibare brandstof werken, wordt deze (door middel van stoom, perslucht, middelpuntvliedende kracht, enz.) zo fijn mogelijk verdeeld en zo goed mogelijk vermengd met de voor de verbranding noodzakelijke lucht. Hiermee probeert men een zo volledig mogelijke verbranding te bereiken. Voor gasgestookte installaties wordt een groot aantal verschillende typen branders gebruikt, waarbij het gas meestal bij de mond van de brander wordt gemengd met de lucht.

De brander zelf is een stalen of keramische plaat of soms een stalen buis voorzien van een heleboel kleine gaatjes, waar het brandstof-lucht mengsel doorheen stroomt. Het brandstof-lucht wordt daar ontstoken door een vonk of door een gloeispiraal. Het regelen van de brander gebeurt door elektronisch het toerental van de ventilator te variëren, waardoor ook meer of minder brandstof wordt toegelaten.

De overdracht van de warmte in de ketel kan op verschillende manieren plaatsvinden. Bij vlampijpketels stromen de verbrandingsgassen door een pijp, waaromheen het te verwarmen water stroomt. Bij waterpijpketels is de situatie andersom: hier stroomt het water door de pijpen, de verbrandingsgassen worden om de pijpen geleid.

De ketels zijn vaak voorzien van een luchtvoorverwarmer (luvo), een voedingswatervoorverwarmer (economizer) en oververhitters. De laatste produceren stoom, die na de verdamping verder wordt verhit, zodat de dampspanning ver beneden het maximum voor de uiteindelijke temperatuur blijft. Met dergelijke droge stoom is maximale uitzetting mogelijk; bovendien geleidt hij minder goed dan verzadigde stoom, zodat er minder warmte verloren gaat bij het transport. De snelstromende, verse stoom wordt vervolgens gebruikt voor bijvoorbeeld de aandrijving van een schoepenrad van de stoomturbine. De stoomturbine levert op deze manier energie voor de elektriciteitsgenerator.

#### *Brandersystemen algemeen*

Zonder al te diep op de details van de verbrandingstechniek zelf in te gaan, wordt een beschrijving gegeven van de diverse brandersystemen zoals die worden toegepast in de chemische industrie. De indeling geschiedt naar de mate waarin de verbrandingslucht en de brandstof gemengd zijn:

- geheel voorgemengde branders (premix) voor aardgas en propaan;
- gedeeltelijk voorgemengde branders (atmosferische branders) voor aardgas en propaan;
- niet-voorgemengde branders (nozzlemix) geschikt voor aardgas, propaan, butaan, laagcalorische gassen, lichte en zware olie, simultaan stoken van vloeibare en gasvormige brandstof.

Deze zijn weer ingedeeld naar brandstoftype: vloeistofbranders, geschikt voor lichte olie (HBO), zwavelarme stookolie, of vloeibare afvalbrandstof;

- gasbranders voor diverse gasvormige brandstoffen zoals aardgas, propaan, butaan, biogas, laagcalorisch gas, etc;
  - gecombineerde gas/vloeistofbranders, te ontwerpen voor elke willekeurige combinatie.
- Geheel voorgemengde branders  
Bij de geheel voorgemengde branders, ook wel premix brander genoemd, vindt de menging van gas en lucht reeds plaats vóór of in de branderkop. Deze voormenging kan worden gerealiseerd met een venturisysteem of met een mechanisch systeem met ventilatoren. Het mengsel ontsteekt aan het oppervlak van een keramische of matrixbrander. Een bekende uitvoering van dit type is de lijn- of kanaalbrander, die vooral wordt toegepast bij het verhitten van (recirculatie)lucht, processtromen met een laag zuurstofgehalte en bij inerte stromen. Voorbeelden hiervan zijn: luchtverhitters, textieldrogers, ovens.
  - Gedeeltelijk voorgemengde branders  
Bij een gedeeltelijk voorgemengde brander (beter bekend als atmosferische brander) wordt door het gas via een venturi een deel van de benodigde verbrandingslucht (primaire lucht) mee aangezogen naar de mengbuis. Bij de uitmonding van de mengbuis vindt ontsteking plaats en aanzuiging van secundaire verbrandingslucht. Toepassing veelal in kleine centrale verwarmingsketels en huishoudelijke gasfornuizen.
  - Niet-voorgemengde branders  
De niet-voorgemengde brander is meer bekend onder de naam nozzlemixbrander. Hierbij vindt de menging van brandstof en lucht plaats na uittrede van de branderkop. Onder overdruk stromen brandstof en lucht afzonderlijk naar de branderkop. De vereiste verbrandingslucht wordt dan met behulp van een centrifugaalventilator toegevoerd. Deze branders hebben een groot regelbereik en kunnen voor allerlei brandstoffen worden toegepast in drogers, sproeidrogers, incinerators, wervelbedsystemen, thermische oxidatie, indirecte verwarming, stoomketels en fornuizen.

## TECHNISCHE FICHE 21

### Gesloten processen voor elektriciteitsopwekking uit hernieuwbare brandstoffen

#### Beschrijving maatregel

*Proces/deelproces: Elektriciteitsopwekking*

*Beschrijving:* Bij energieproductie uitgaande van stoom, vindt er een overdracht plaats van de energie uit de verbrandingsgassen naar het water. Deze energie uitwisseling gebeurt volledig onder de vorm van warmteoverdracht. Dit proces is indirect en brengt een verlies aan

omzettingsrendement met zich mee. Indien enkel processtoom of warm water als energie benut wordt, volstaat een stoom/warm waterketel. Voor elektriciteitsopwekking met of zonder warmtetoepassing is er een stoomturbine, stoommotor of Organic Rankine Cycle (ORC) noodzakelijk.

#### • Stoomturbine

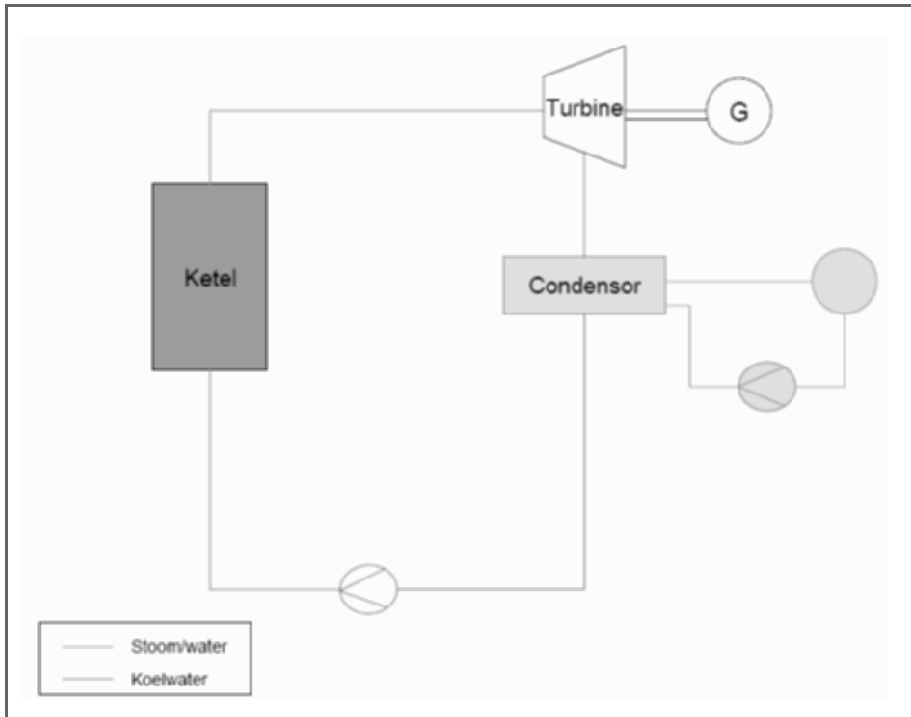
De stoomturbine is de meest toegepaste techniek in de grotere vermogensrange (0.1-100 MWe). Het principe van elektriciteitsproductie uit stoom is gebaseerd op de Rankine-cyclus, een thermodynamisch proces. In deze cyclus wordt in een stoomketel oververhitte stoom (d.w.z. verwarmd tot een temperatuur boven het kookpunt bij de keteldruk) onder hoge druk geproduceerd. Deze stoom expandeert vervolgens in een stoomturbine die een generator aandrijft. Daarna wordt de stoom gecondenseerd in een water- of luchtgekoelde condensor en wordt het condensaat teruggepompt naar de stoomketel. Bij deze water-stoomcyclus is het belangrijk om de stoom te oververhitten om de vorming van condensaatdruppels in de stoomturbine te vermijden.

De elektriciteitsopwekking gebeurt in de turbine-alternatorset, bijkomende warmte-energie kan ofwel uit de uitlaat van de turbine gerecupereerd worden ofwel uit een aftap van de turbine afhankelijk van het type turbine. Er bestaan 2 types stoomturbines: de tegendruk turbine (enkel gebruikt bij WKK-installaties) en de condenserende turbine (gebruik in elektriciteitscentrales en WKK-installaties) al dan niet met aftap. De tegendruk turbine laat de damp gedeeltelijk ontspannen tot een bepaalde druk (cfr. de vereiste druk en temperatuur nodig voor de nageschakelde warmtetoepassing). De condenserende turbine laat de hoge druk stoom volledig ontspannen (tot ca. 0.1 bar overdruk bij luchtcondensor, mogelijk tot lagere drukken bij watercondensor). De warmte die eventueel nodig is wordt gegenereerd door een deel van het stoomdebiet af te tappen uit de turbine. Naargelang de elektriciteit en warmtevraag moet de stoomcyclus uitgebalanceerd worden naar zijn meest optimale energetisch omzettingsrendement (geringe stoomaftap maar op hoge druk of groter (stoomdebiet op lagere druk). Typische dampdrukken voor vermogens tot 5 MWe liggen tussen de 40 en 60 bar.

Het rendement van dergelijke installatie wordt bepaald door de condities van de geproduceerde stoom (druk en temperatuur), het rendement van de turbine en de eigenschappen van de condensor. Gewoonlijk ligt het rendement tussen 15 en 40%. Het rendement ligt hoger bij hoge druk en temperatuur van de stoom en lagere temperatuur van het condensaat. In kleinere toepassingen wordt warmte-kracht-koppeling (WKK) toegepast. Hierbij wordt uitgegaan van een bepaalde warmtevraag (onder de vorm van stoom). Door de stoom onder hoge druk op te wekken, en in de turbine te laten expanderen tot de gewenste druk, wordt de elektriciteit als 'bijproduct' opge-

wekt. Het elektrische rendement is vaak laag (10-15%), maar het thermische rendement bedraagt nog eens 60-70%.

Het voordeel van een stoomturbine is dat het een degelijke technologie is die reeds zijn strepen verdiend heeft en dat de grootte van de installatie zeker in de grootteorde van enkele MW, geen begrenzingen heeft. Aangezien verbranding en elektriciteitsproductie gescheiden zijn, vormt het gebruik van brandstof met veel als geen probleem. Nadelen van deze technologie kan de relatief lage elektrische efficiëntie door de beperkte stoomparameters zijn, een slecht rendement in deellast en bij kleine units, een hoge werkingskost en de noodzaak voor hoge kwaliteitsstoom.



*Figuur 33: Schema stoomketel met turbine en condensor*

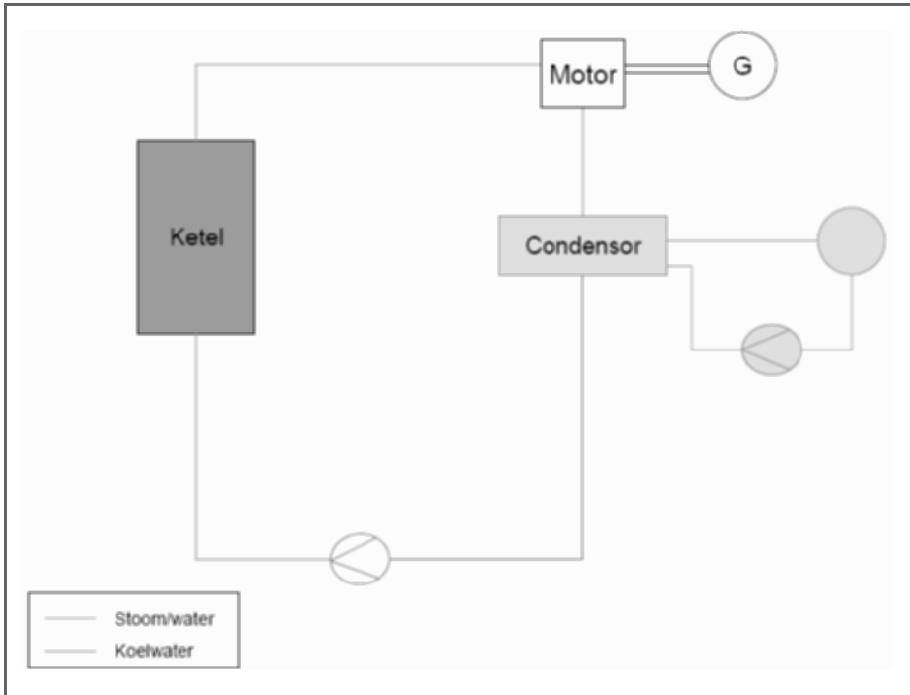
- **Stoommotor**

Stoommotoren worden voornamelijk ingezet voor de kleinere vermogens (van 20 kW tot 1.5 MWe). Een stoommotor werkt volgens het principe dat de stoom in een cilinder wordt geëxpandeerd en zo arbeid verricht op een zuiger, deze arbeid wordt op zijn beurt omgezet in elektriciteit. Een stoommotor kan tot 40 t/h stoom aan, de inlaatdruk kan naargelang de bouwwijze variëren tussen de 6 en 60 bar, de uitlaatdruk kan variëren tussen de 0.5 en 25 bar.

Stoommotoren worden zowel voor elektriciteitsproductie als voor WKK-installaties gebruikt. De nuttige warmte wordt gegenereerd uit de uitlaat van de motor.

Voordelen van deze motoren zijn dat ze geschikt zijn voor kleinere ordegroottes, dat ze een goed rendement in deellast hebben, dat verzadigde stoom kan gebruikt worden, en dat het een mark-

trijpe technologie is. De nadelen zijn dan weer dat de afgassen met olie kunnen belast zijn, een lage elektrische efficiëntie (6-20%), een hoge onderhoudskost en de geluidsintensiteit.



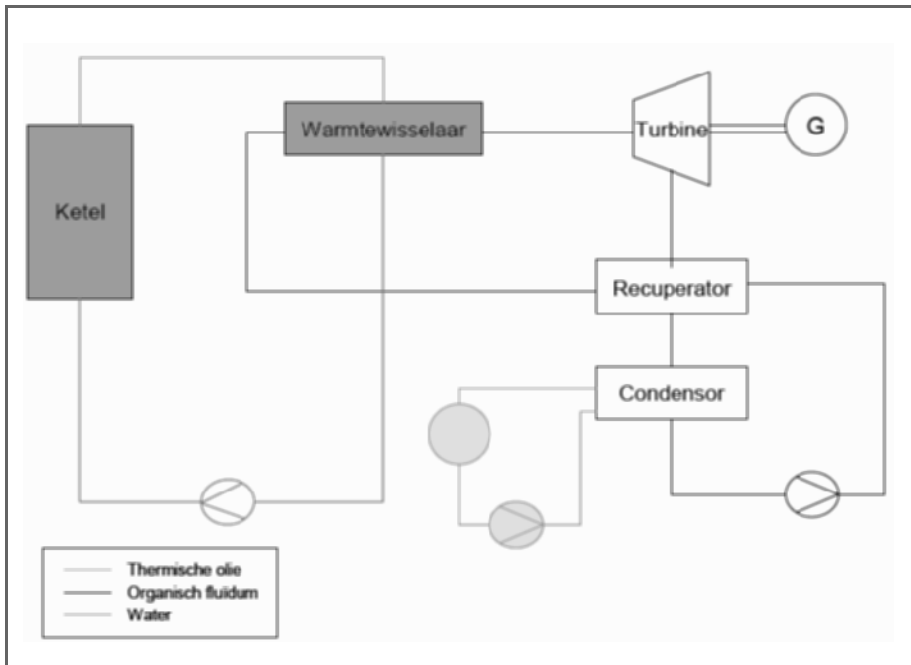
*Figuur 34: Schema stoommotor*

- **Organic Rankine Cycle (ORC)**

Door een klassieke Rankine cyclus uit te voeren met een ander dikwijls organisch fluïdum (o.a. ammoniak, propaan, n-pentaan, n-hexaan, toluen, silicone olie, ...), in plaats van met water en stoom, zijn er belangrijke voordelen te behalen aangezien het proces met lagere temperaturen werkt (de organische stof verdampt en condenseert bij een lagere temperatuur dan water). De verdampingsenergie voor het organisch medium wordt gehaald uit een thermische olie ketel. In een thermische olie/organisch fluïdum verdamper wordt de energie overgedragen. De organische stof in de verdamper levert een hoge verdampingsdruk bij een veel lagere temperatuur dan stoom. De oververhitte damp wordt over een turbine gestuurd om elektriciteit te produceren. De resterende warmte van de nog oververhitte damp uit de turbine kan deels gebruikt worden om het condensaat naar de verdamper voor te verwarmen, te verdampen en ev. deels te oververhitte. De organische stof condenseert in de condensor. De condensatorwarmte kan gebruikt worden voor de warmtetoepassing.

De verdampingsdruk verschilt naargelang welke organische stof wordt gebruikt, maar ligt rond de 10 bar bij een temperatuur tussen de 250°C en 300°C. Daarnaast hebben sommige organische stoffen zulke fysische eigenschappen dat oververhitting niet nodig is. Ten slotte is bij organische stoffen de verdampingswarmte minder hoog dan bij water (vanwege het ontbreken van waterstofbruggen) en is een groter aandeel van de warmte benutbaar voor opwarming van de vloei-

stof. Dat is een interessante eigenschap als het om benutting van restwarmte gaat. Deze eigenschappen maken het mogelijk om een Organic Rankine Cycle te gebruiken om met laagwaardige warmte elektriciteit op te wekken. De minimum temperatuur waarbij dit proces nog praktisch mogelijk is, bedraagt ongeveer 80 °C. Het rendement neemt toe naarmate de temperatuur van de beschikbare warmte hoger is. Bij lagere temperatuur kan ongeveer 10% van de warmte omgezet worden in elektriciteit. Bij hogere temperaturen neemt dit toe tot ruim 20%. Dan is het ook mogelijk om de condensor op een hogere temperatuur te houden, zodat de condensatiewarmte kan benut worden voor een warmtetoepassing. De afstemming van de condensatietemperatuur voor de warmtetoepassing bepalen het thermisch rendement.



*Figuur 35: Schema Organic Rankine Cycle*

### Milieuvoordeel

–

### Financiële aspecten

De inschatting van de financiële aspecten dient op het niveau van de individuele onderneming te gebeuren.

### Opmerkingen

–

## TECHNISCHE FICHE 22

### Roosterverbranding: bewegend rooster

#### Beschrijving maatregel

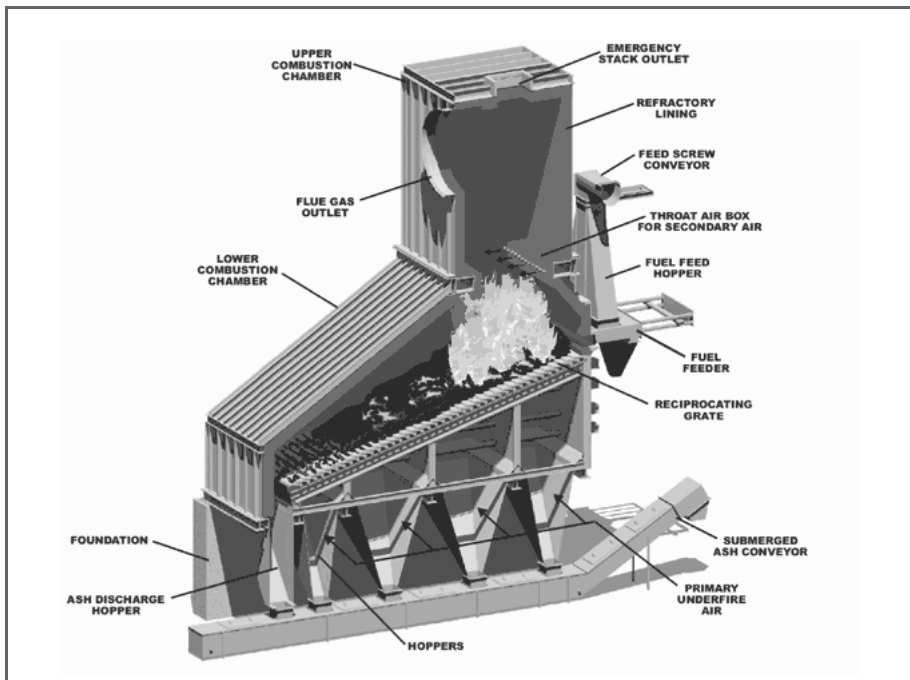
*Proces/deelproces: Verbranden van vaste hernieuwbare brandstoffen*

*Beschrijving:* De gehomogeniseerde vast hernieuwbare brandstof wordt op een het verbrandingsrooster gebracht. De snelheid van het rooster kan worden aangepast waardoor de doorzet gecontroleerd kan worden.

Het eigenlijke verbrandingsproces voltrekt zich boven het rooster en kan opgesplitst worden in vier subprocessen. In eerste instantie wordt de vaste hernieuwbare brandstof gedroogd. In de volgende fase vindt de vergassing plaats: vervluchtigde koolwaterstoffen ontsnappen uit de brandstof. In de derde fase, de verbrandingsfase ontvlammen deze substanties en worden geoxideerd tot hoofdzakelijk CO<sub>2</sub> en water. Op het einde van het rooster tenslotte branden de laatste resten van de overgebleven vaste koolstof uit. Het verbrandingsrooster zorgt voor het transport van de vaste stoffen door de oven en voor de opmenging ervan.

Onder het rooster zijn trechters opgesteld voor de opvang van de roosterdoorval, en voor de toevoer van de primaire verbrandingslucht. Deze luchttoevoer wordt gestuurd aan de hand van temperatuursmetingen boven het rooster. Er wordt getracht een compromis te vinden tussen een goede uitbrand en een daling van de rookgastemperatuur door te sterke verdunning. De rookgassen worden door een naverbrandingskamer gevoerd waar secundaire verbrandingslucht wordt toegevoerd.





*Figuur 36: Schema roosteroven*

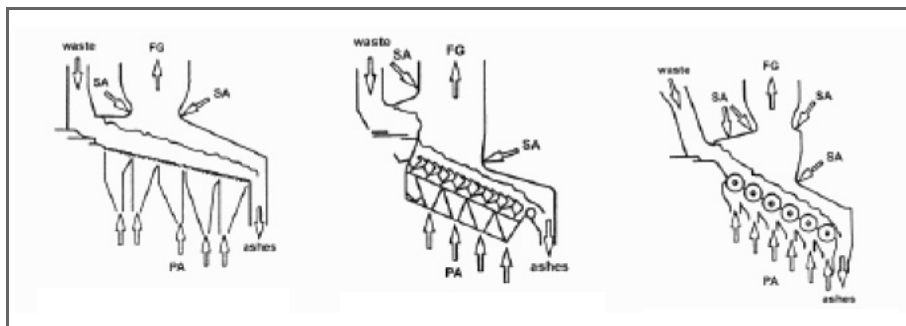
De warmte uit de rookgassen kan worden gerecupereerd door middel van een stoomketel. De thermische energie van de rookgassen wordt gebruikt om oververhitte stoom van 40 bar en 400°C te produceren. De stoomketel bestaat uit een groot aantal buizen welke gevuld zijn met water. De rookgassen worden doorheen de stoomketel geleid waardoor het ketelwater opwarmt. In de eerst verticale lege trek van de ketel die geïntegreerd is in de ovenwand, gebeurt de warmteoverdracht door straling. In het tweede gedeelte zijn economizers, verdamper en oververhitters opgesteld, die de warmte van de rookgassen convectief opnemen. In de economiser wordt het water opgewarmd door de gassen tot ongeveer het kookpunt, in de verdamper wordt het water afkomstig van de economiser verder verwarmd tot verzadigde stoom wordt gevormd. Daarna wordt in de oververhitter de verzadigde stoom verder verwarmd tot oververhite stoom (standaard 400°C en 40 bar).

- *Roostertypen*

Er werden verschillende typen van verbrandingsroosters ontwikkeld:

- *Hellend rooster*: bij het hellend rooster kunnen twee typen worden onderscheiden: het eerste type is licht hellend opgesteld (15-30°) met tegels die in de voortgangsrichting bewegen (Noell, Von Roll, Seghers,..). Bij het tweede type rooster bewegen de tegels tegen de voortgangsrichting in. Hierdoor bekomt men een goede terugmenging van de brandende massa. Om het transport van de vaste fractie door de oven mogelijk te maken wordt gebruik gemaakt van een sterke roosterhelling welke de tegengestelde beweging van de tegels moet compenseren. (Martin)

- *Walsenrooster*: Het rooster wordt eveneens hellend uitgevoerd, maar in plaats van bewegende tegels te gebruiken, wordt gebruik gemaakt van geperforeerde cilinders die in de voortgangsrichting draaien. (Babcock)
- *Horizontaal rooster*: het rooster wordt horizontaal opgesteld. De beweging van de roostertegels zorgt voor het transport van de vaste massa. (ABB)



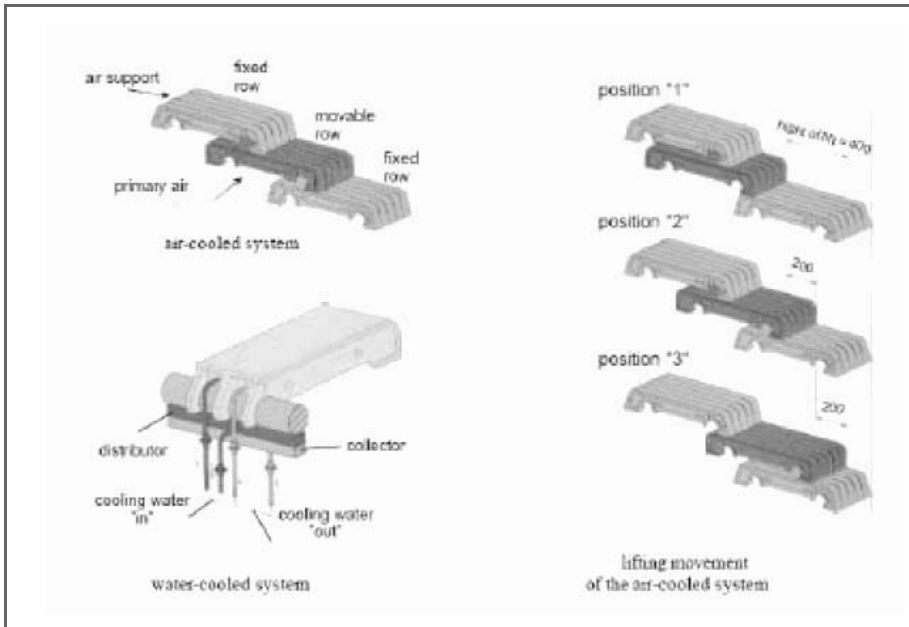
**Figuur 37:** Verschillende roostertypen. Van links naar rechts: hellend rooster, beweging in voortgangsrichting; hellend rooster, beweging tegen voortgangsrichting; walsenrooster

- *Koelingsystemen voor de roosters*

*Luchtgekoelde roosters:* luchtgekoelde roosters zijn de standaard technologie voor roosterevens. Hoewel deze systemen zeer betrouwbaar zijn in de praktijk en de kostprijs vrij voordelig is, werden onder bepaalde omstandigheden volgende minpunten vastgesteld:

- Hoge verbrandingswaarde veroorzaken bij luchtgekoelde roosters tot een snellere slijtage, hetgeen leidt tot verhoogde operationele kosten.
- de primaire lucht wordt zowel gebruikt als verbrandingslucht als voor de koeling van het rooster. Beide functies kunnen niet ontkoppeld worden. Omdat een deel van de primaire verbrandingslucht gebruikt moet worden als koelmiddel, kan deze niet optimaal gebruikt worden voor het verbrandingsproces.

*Watergekoelde roosters:* Om tegemoet te komen aan bovenvermelde minpunten, eigen aan luchtgekoelde roosters, werden de watergekoelde roosters ontwikkeld. Bij het toepassen van watergekoelde roosters, kan de hoeveelheid lucht gereduceerd worden. Dit biedt voordelen voor de reductie van primaire NO-productie. Ook de thermische belasting van het rooster kan stijgen. Bovendien wordt de oventemperatuur gereduceerd door het onttrekken van warmte aan de oven. Een nadeel van watergekoelde rooster is dat het systeem complexer wordt met mogelijke problemen naar beschikbaarheid van het systeem. Het waterkoelsysteem is geïntegreerd in het luchtvoorverwarmingssysteem zodat de warmte gerecupereerd kan worden.



**Figuur 38:** Lucht- en watergekoelde rooster systemen

- *Terugwinning van energie*

#### *Elektriciteit-stoom-warmte*

Wanneer een combinatie wordt gemaakt van energierecuperatie in de vorm van elektriciteit en in de vorm van warmte (stoom), kan het energieconversierendement op significante wijze verhoogd worden.

#### *Stoomproductie*

Een klassieke roosteroven produceert stoom aan 400°C en 40 bar. Een hoger energieconversierendement zou kunnen behaald worden wanneer stoom aan hogere temperatuur en druk zou geproduceerd worden met behulp van de rookgassen. In de Nederlandse studie van TNO wordt ervan uitgegaan dat tegen 2005 stoom zal kunnen geproduceerd worden aan 520°C en 88 bar, waardoor de efficiëntie van de elektriciteitsproductie met 6.3% zou toenemen. Het zou zelfs mogelijk moeten zijn om 540°C en 100 bar te kunnen halen. Hiervoor is het nodig om de boiler uit te rusten met nieuwe corrosiebestendige materialen. Standaard wordt er hiervoor gebruik gemaakt van keramische materialen zoals Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, SiC, ... in verschillende mengelingen, combinaties en bindingen.

Naast chemische bescherming is ook thermische isolatie een belangrijk onderdeel. Door het variëren van de thermische geleidingscoëfficiënt of de dikte van het materiaal kan de warmte overdracht van de oven gecontroleerd worden.

De temperatuur in de oven bepaalt de primaire productie van CO, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>, NO en dioxine/furanen. Langs de andere kant is de verblijftijd in de naverbrandingskamer zeer afhankelijk van de behaalde temperatuur (zie Tabel 106). De materiaalkeuze speelt dus een belangrijke rol in het proces.

**Tabel 106:** *Verblijftijden in naverbrandingszone in functie van de temperatuur*

verblijftijd		
rookgastemperatuur [°C]	naverbrandingszone [s]	oven + naverbrandingszone [s]
> 950	0,3	1,4
> 900	1,25	2,35
> 850	2,15	3,25
> 800	3,3	4,4

Volgens Indaver is het momenteel nog steeds niet mogelijk om in de praktijk stoom te produceren van 480 °C, omwille van problemen met de oververhitters. Deze zouden gemiddeld om de 6 maanden vervangen moeten worden, terwijl de oververhitters in de klassieke roosteroven gemiddeld eens in de 5 jaren moeten vervangen worden.

### Milieuvoordeel

—

### Financiële aspecten

### Opmerkingen

### Referenties

Jacobs A., Wellens B., Dijkmans R. (2003). Gids afvalverwerkingstechnieken, Uitgave Academia Press, Gent.

Göerner, K (2003) Waste Incineration European State of the Art and New Developments, University of Essen, Germany

Brem G. (2003). Advanced waste incineration concepts, TNO-MEP, Nederland.

Indaver (2003). Indaver, naar een duurzaam afvalbeheer: Infosessie roosteroven doel; 25/11/2003.

## TECHNISCHE FICHE 23

### Wervelbedoven

#### Beschrijving maatregel

*Proces/deelproces: Verbranden van vaste hernieuwbare brandstoffen*

*Beschrijving:* Wervelbedovens steunen op het inblazen van een luchtstroom door een laag zand, zodanig dat het zand wordt opgewerveld. De snelheid van de luchttoevoer wordt zodanig hoog gekozen, dat het zand zich niet meer als een vaste stof maar als een fluidum gedraagt.

De brandstof wordt bovenaan het wervelbed toegevoerd. Het ondergaat door de turbulentie een intensieve menging met het zand, waarbij een goede warmteoverdracht plaatsvindt. De organische fractie van de brandstof vergast hierdoor en ontbrandt. Vliegassen worden met de rookgasen meegevoerd. Bodemassen bezinken in het bed en worden door continue of discontinue zeving uit het zand verwijderd. De efficiënte warmteoverdracht die in het wervelbed plaatsvindt, resulteert in een goede uitbrand.

Boven het wervelbed wordt secundaire lucht ingeblazen. De rookgassen worden via de naverbrandingskamer naar de stoomketel gevoerd.

De temperatuur in het wervelbed bedraagt typisch 800-900 °C. Hogere waarden zijn niet mogelijk, door het risico op sinteren en smelten van het zand. De snelheid van de luchtstroom die doorheen het zandbed wordt gejaagd ligt tussen 2 en 5 m/s. De retentietijd in de verbrandingszone bedraagt > 2s. De stoomketel werkt typisch op een temperatuur van 400 of 500 °C en een maximale druk van 5 of 7-9 MPa, afhankelijk van het wervelbedtype.

In principe is een wervelbed een goed te sturen reactor, met een snelle responstijd. Dit maakt een nauwkeurige regeling van de temperatuur en een stabiele thermische werking mogelijk. Hierdoor is een wervelbed geschikt voor de verbranding van mengsels van brandstoffen, zowel voor combinaties van vaste en vloeibare stromen als hoog-calorische en laag-calorische stromen.

Een wervelbedoven is geschikt voor de verbranding van vaste brandstoffen en brandstoffen met hoog watergehalte (slibs, ...). Door menging met vaste afvalstoffen kunnen ook vloeistoffen verwerkt worden.

De thermische capaciteit van een wervelbedoven ligt hoger dan een klassieke roosteroven. Een Circulating Fluidised Bed (CFB) heeft het breedste werkingsgebied. De calorische waarde van de input kan 6 tot 30 GJ/ton bedragen. Zowel een CFB als een Rotating Fluidised Bed (RFB) zijn uitstekend geschikt voor de verbranding van brandstoffenmengsels.

Knelpunten vormen metalen met een laag smeltpunt (Al, Sn, Pb) en componenten die het smeltpunt van het zand verlagen. Deze worden bij voorkeur in de input beperkt.

Gezien het werkingsprincipe vergt de techniek voorbehandeling:

- Vaste stoffen: ontschroting, verkleining tot < 10 cm (< 30 cm voor een RFB);
- Slibs: mechanische ontwatering.

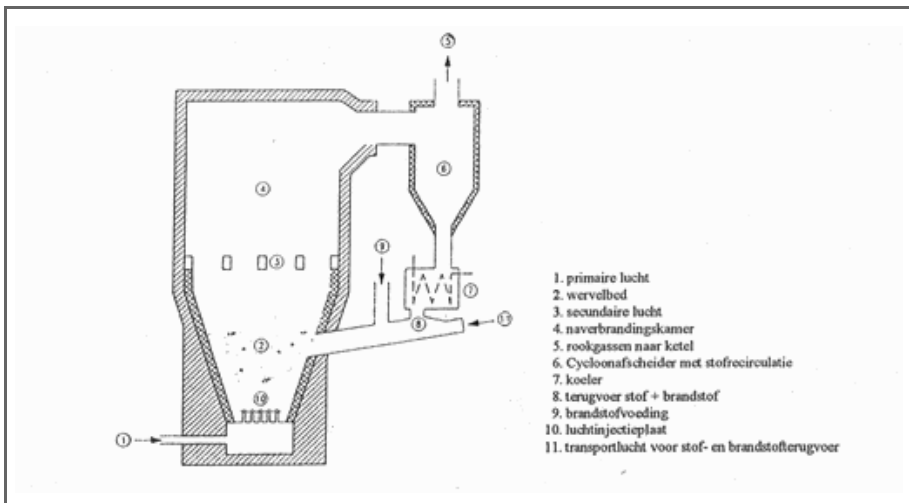
- *Varianten*

Drie types van wervelbedovens kunnen onderscheiden worden:

**BFB:** Een BFB heeft een toevoersnelheid die juist voldoende is voor fluïdisatie van het zandbed. Het zandbed krijgt hierdoor het uitzicht van een kokende vloeistof. Het betreft een oude en beproefde techniek. Deze wordt hoofdzakelijk voor verbranding van RWZI-slib (na mechanische ontwatering) en steenkool ingezet. De techniek is ook geschikt voor de verbranding van onbehandeld hout. De calorische waarde van de input dient lager te zijn dan 14 GJ/ton. Voor monostromen kan deze bovengrens opgedreven worden tot 20 GJ/ton.

**CFB:** Bij een CFB wordt de toevoersnelheid van de verbrandingslucht zodanig opgedreven, dat een deel van het zand continu aan de bovenzijde van de oven wordt afgevoerd. Een CFB is een smalle constructie, waardoor het zandbed een grote stofwolk vormt. Het afgevoerde zand wordt afgescheiden in een cycloon. Het zand wordt na uitzeving van de ongewenste delen terug naar de bodem van de oven gerecirculeerd.

De CFB-techniek is afkomstig uit de energiesector (biomassa-centrales) en de papierindustrie (pulpverbranding) en wordt veelvuldig gebruikt. De configuratie laat door sturing van de dichtheid van de zandwolk een grote warmte-afvoer toe, waardoor een CFB bijzonder geschikt is voor de verbranding van relatief hoog-calorische mengsels of monostromen (tot 30 GJ/ton).



Figuur 39: Circulerend wervelbed

**RBF:** In een RFB wordt het wervelende zand door een gerichte, hogere toevoer van lucht in bepaalde zones onder het zandbed omgegooid. De primaire luchtinvoer is met andere woorden ongelijk verdeeld over de doorsnede van het bed. Naast het kokend gedrag van het zand wordt hierdoor eveneens een circulatie in het gehele zandbed veroorzaakt. Het zand wordt van het midden naar de zijkant geworpen. Een deel van het zand wordt continu afgevoerd en kan na behandeling (metaalafscheiding, zeven) terug naar de oven worden gestuurd.

Het RFB is als alternatief voor de roosteroven, voor de verbranding van huishoudelijk afval, ontwikkeld. De techniek is bruikbaar met een beperkte voorbehandeling. De calorische waarde van de input dient beperkt te worden tot ongeveer 14 GJ/ton.

**Milieuvoordeel**

–

**Financiële aspecten****Opmerkingen****Referenties**

Environmental Technology Monographs. Handbook, Envi Tech Consult;

GOM-Antwerpen: [www.gomantwerpen.be/nederlands/publicaties/milieu/voorstelling.html](http://www.gomantwerpen.be/nederlands/publicaties/milieu/voorstelling.html).

Cleiren D., GOM-Antwerpen (2000). Objectieve keuze inzake verwerkingstechnieken. Het objectiveren van de techniekkeuze voor de eindverwijdering van huishoudelijk afval: het praktijkvoorbeeld binnen de provincie Antwerpen. 20<sup>ste</sup> Internationaal Seminarie – Het Beheer van Afvalstoffen. Vrije Universiteit Brussel in samenwerking met RDC, 11-12 mei 2000;

Emissies uit bijstoken, verbranden en vergassen van niet-gevaarlijke afvalstromen (in vergelijking tot BLA en AVI), Centrum voor Energiebesparing en Schone Technologie, [www.cedelft.nl](http://www.cedelft.nl), 2000;

Beperking van emissies naar lucht bij conversie van biomassa naar elektriciteit en warmte, Centrum voor Energiebesparing en Schone Technologie, [www.cedelft.nl](http://www.cedelft.nl), 1999.





**Bijlage 6****FINALE OPMERKINGEN**

Dit rapport komt overeen met wat het BBT-kenniscentrum op dit moment als de BBT en de daaraan gekoppelde aangewezen aanbevelingen beschouwt. De conclusies van de BBT-studie zijn mede het resultaat van overleg in het begeleidingscomité maar binden de leden van het begeleidingscomité niet.

Deze bijlage geeft de opmerkingen of afwijkende standpunten die leden van het begeleidingcomité en de stuurgroep namens hun organisatie formuleerden op het voorstel van eindrapport. Volgens de procedure die binnen het BBT-kenniscentrum van VITO gevolgd wordt voor het uitvoeren van BBT-studies, worden deze opmerkingen of afwijkende standpunten niet meer verwerkt in de tekst (tenzij het kleine tekstuele correcties betreft), maar opgenomen in deze bijlage. In de betrokken hoofdstukken wordt door middel van voetnoten verwezen naar deze bijlage.

**Standpunt Fedustria:**

*“Als lid van de begeleidingscommissie van de BBT-studie omtrent hernieuwbare brandstoffen willen wij enkele fundamentele opmerkingen op deze studie benadrukken.*

*Zoals herhaaldelijk gesteld in de vergaderingen van de begeleidingscommissie, hebben wij principiële vragen bij de gevolgde benadering uitgaande van een vooraf vastliggende “economische haalbaarheid” van bepaalde technieken. Hoewel die kostenhaalbaarheid is afgeleid uit een Nederlandse benadering én een intersectorale afweging van Vlaamse sectoren, gaat ze volgens ons voorbij aan de specifieke mogelijkheden en knelpunten van sectoren die deel uitmaken van de huidige BBT-studie.*

*In de Nederlandse benadering wordt de kostenhaalbaarheid immers afgeleid van technieken die moeten voldoen aan wettelijke doelstellingen, die anders zijn dan in Vlaanderen. Dus ook daar zijn de regels waarop de kostenhaalbaarheid is gebaseerd, anders. De nuancering door de “gevoelighedsanalyse” is positief, maar raakt niet aan het feit dat een vooraf vastgelegde “kostenhaalbaarheid” als axioma wordt gebruikt.*

*Het is positief dat er op verschillende plaatsen in de BBT-studie wordt beklemtoond dat er weinig praktijkgegevens voorhanden zijn. Dergelijke waarschuwing moet door de lezers goed in het oog worden gehouden om de verwachtingen van de BBT-studie juist te kunnen inschatten.*

*Wat volgens ons echter niet voldoende is onderbouwd, is kostprijs én performantie van de voorgestelde technieken. Hoewel dit is gecontroleerd met toeleveranciers van technieken, lijken bepaalde cijfers van haalbare emissies ons niet realistisch, zeker niet in de praktijk. Deze opmerking werd trouwens ook in de laatste vergadering (nogmaals) aangehaald.*

*Verder moet duidelijk zijn dat de voorgestelde BBT's enkel kunnen slaan op zelfstandige installaties. Indien er andere installaties aan gekoppeld zijn (bv. in productieprocessen), dient er een aparte studie te worden gemaakt over de BBT's, rekening houdend met de specifieke omstandigheden.*

*Fedustria concludeert dat deze studie slechts een voorbereidende studie kan worden genoemd. Op zich is dat trouwens niet onlogisch, omdat deze studie gaat over technieken die nog volop in ontwikkeling zijn, en dus niet steeds goed gedocumenteerd en/of beschikbaar zijn.”*

**Standpunt Boerenbond:**

*“Ook Boerenbond blijft principieel bij het standpunt dat in een BBT studie de economische draagkracht moet worden bekeken. Onze opmerking moet in deze begrepen worden als een vraag naar de veralgemening van het onderzoek naar economische draagkracht en geen specifieke visering van één sector.”*

**Standpunt VITO:**

*“Er wordt geen kostenhaalbaarheid uitgewerkt in de BBT studie. Dergelijke evaluatie kon gemaakt worden indien er voldoende gegevens beschikbaar werden gesteld over de economische draagkracht van een ‘voorbeeldbedrijf’ binnen een bepaalde sector. VITO beschikt enkel over gegevens voor de glastuinbouw. Andere sectoren, waaronder Fedustria, bleken echter niet bereid deze informatie ter beschikking te stellen.*

*Na overleg in het BC (08/05/2008) werd besloten geen haalbaarheidsevaluatie op sectorniveau uit te voeren. Het is immers niet logisch om binnen deze horizontale studie slechts één sector te bekijken. Ook de Boerenbond bleek geen voorstander om in deze studie enkel de glastuinbouw te viseren.*

*Vermits de BBT-studie horizontaal kijkt, is het de economische evaluatie op dan ook op sectoroverschrijdend niveau gebeurt. De gebruikte evaluatie van kosteneffectiviteit is hiervoor geschikt. Bij de BBT-conclusies wordt wel vermeld dat bij de BBT-selectie enkel rekening is gehouden met de kosteneffectiviteit en dat de kostenhaalbaar geval per geval moet bekeken worden.*

*Wat betreft de gegevens omtrent de performantie en kostprijzen van de milieumaatregelen; deze zijn afgetoetst met leveranciers, vertegenwoordigd in het begeleidingscomité, en met informatie uit gerelateerde BBT-studies.”*

**Standpunt Boerenbond:**

*“Wij vinden dat er in deze studie zeer veel belang gehecht wordt aan de theoretische modellen over de gevolgen van houtverbranding. De metingen en de praktijktoepassingen dreigen hierdoor op de achtergrond te verdwijnen. Wij stellen ook vast dat er te weinig rekening werd gehouden met reële emissieresultaten. Wij stellen ons vragen bij de afwegingen die gebruikt werden om metingen effectief te weerhouden als basis voor deze studie. “*

**Standpunt VITO:**

*“In de BBT-studie werd samen met het begeleidingscomité beslist om te werken met een rekenmodel voor de inschatting van de NOx-emissies bij het verbranden van vaste hernieuwbare brandstoffen. Enerzijds was dit het gevolg van het tekort aan emissiegegevens voor de verbranding van bepaalde vaste hernieuwbare brandstoffracties, m.n. grassen, diersmeel, mest en slib. Anderzijds bleken de meetrapporten vaak onvolledig waardoor de link tussen de brandstofsaamenstelling, technieken en de emissies niet kon gelegd worden.*

*Dat betekent niet dat we de emissiegegevens uit de meetrapporten naast ons neer hebben gelegd. Deze zijn aangegeven in Tabel 61 van het rapport. Hieruit bleek duidelijk dat er een zeer grote spreiding op de beschikbare meetgegevens zit. De specifieke oorzaak van deze grote spreiding is niet uit de meetrapporten af te leiden daar de gedetailleerde gegevens voor diepere interpretatie ontbreken en de vergelijking tussen de meetgegevens onmogelijk is.*

*Om toch een inzicht te krijgen in de mogelijke emissieniveaus voor alle brandstof fracties is een model opgesteld op basis van empirische formules die de relatie tussen N-inhoud van de brandstoffen NOx-emissies aangeven en de brandstofsamenstelling (volgens EN-normen). NOx-emissies bij het verbranden van vaste brandstoffen zijn immers vnl. een gevolg van de N aanwezig in de brandstof. Dit wordt in meerdere literatuurbronnen beschreven, en bevestigd door de leveranciers van verbrandingsinstallaties (zie § 3.7.1.2 in de BBT-studie). Gelijkaardige rekenmodellen worden dan ook door leveranciers van houtverbrandingsinstallaties gebruikt om de potentiële emissies in te schatten.”*

#### **Standpunt Boerenbond:**

*“Er bestaat bij ons ook de overtuiging dat deze studie het omgekeerde traject volgt van een normale BBT-studie. De resultaten van een BBT studie vormen normalerwijs de basis om bestaande milieuregelgeving (incl. emissienormen) te evalueren en aan te vullen. Zo werden op basis van de BBT studie glastuinbouw (VITO, 2005) verschillende emissienormen aangepast in de huidige Vlaremrein.*

*We stellen echter vast dat in deze studie een omgekeerd traject wordt gevolgd. Men vertrekt van de huidige Vlaremnorm en onderzoekt of er een BBT voorhanden is om aan deze norm te voldoen*

*Wij vragen dan ook dat de studie aanbevelingen doet om emissienormen aan te passen aan de op dit ogenblik beschikbare BBT. “*

#### **Standpunt VITO:**

*“Bij het selecteren van BBT is de huidige milieuwetgeving geen criterium. In een vorige versie van de tekst was hier mogelijk wat onduidelijkheid over, maar die is in deze versie weggewerkt. De selectie gebeurt op basis van de technische haalbaarheid, de milieu-impact en de kosteneffectiviteit van de milieumaatregelen. Bij de BBT selectie wordt naast de kosteneffectiviteit van de milieumaatregelen dus ook gestreefd naar de maximale beperking van de impact op het milieu. De evaluatie van de kosteneffectiviteit leidt tot brandstof-techniek combinaties die zeer hoge emissieniveaus geven, en dus een hoge milieu- en gezondheidsimpact hebben. Dit is niet in overeenstemming met de BBT criteria, zoals hierboven aangegeven. Vandaar dat op enkele plaatsen een maximaal aanvaardbaar emissieniveau is gedefinieerd. De afbakening van dit aanvaardbaar niveau (als maximale bovengrens van het BBT-gerelateerd emissieniveau) is gebeurd op basis van bestaande wetgeving (welke rekening houdt met luchtkwaliteitsdoelstellingen) en vergelijking met andere sectoren. De afbakening van het maximaal emissieniveau is uitvoering besproken met het begeleidingscomité. Hierover werd toen een consensus bereikt (zie verslag vergadering BC van 22/01/2009). “*

#### **Standpunt Boerenbond:**

*“Stookinstallaties op hout doen het beter dan sommige andere brandstoffen wat betreft SOx. Stof en NOx-normen worden in een groot deel van de installaties – zo blijkt uit praktijkgegevens – wel gehaald. Wij betwisten dat het emissieniveau voor totaalstof van 225 mg/Nm<sup>3</sup> bij 6% O<sub>2</sub> bij brandstoffen (>1 gew.%) in kleine installaties niet zal gehaald worden door de toepassing van de BBT, zijnde multicycloon. Uit onze metingen blijkt dat 18 op de 20 stalen deze norm wel degelijk halen.”*

**Standpunt VITO:**

*“BBT is niet het toepassen van een bepaalde techniek maar het behalen van een bepaalde milieuproductie gerelateerd aan de BBT-techniek. Als bepaalde installaties mét of zonder multi-cycloon het emissieniveau van 225 mg/Nm<sup>2</sup> bij 6% O<sub>2</sub> behalen, voldoen deze aan de BBT.”*

**Standpunt Boerenbond:**

*“Boerenbond is van mening dat een BBT studie waarin voor de verschillende houtsoorten de best beschikbare technieken worden beschreven en voor elk van die technieken de haalbare emissiegrenswaarden (incl. dioxines) worden beschreven voor iedereen meer zekerheid biedt (zowel voor de bestaande als de nieuwe installaties). “*

**Standpunt VITO:**

*“De afbakening van de beschouwde brandstoffracties in deze BBT-studie werd reeds in het najaar van 2006 afgesproken in overleg met het begeleidingscomité. Het lijkt ons dan ook niet terecht om dit nu nog als argument aan te halen. In antwoord op de brede scope werden door ons ook duidelijk meer middelen voorzien voor deze studie in vergelijking met andere studies.*

*Verder hangt de kwaliteit en diepgang van de BBT-studie af van de kwaliteit van de gegevens die ter beschikking zijn/worden gesteld. Indien voor de verschillende houtsoorten geen betere/gedetailleerde/volledige gegevens ter beschikking worden gesteld, zal dit dus zeker niet tot andere/betere/zekere BBT conclusies leiden. “*

**Standpunt ODE Vlaanderen**

*“Aangezien er slechts een beperkt aantal installaties aanwezig is in Vlaanderen kan men moeilijk spreken van een studie over best beschikbare technieken in Vlaanderen. De voorliggende studie is, naar onze mening, een behoorlijk realistische simulatie en benadering van het onderwerp. Aan de basis van deze stelling ligt de noodzaak om individuele technieken te modelleren zodat conclusies tot stand konden komen. Er is evenwel de basis gelegd voor een evaluatie in een “case by case” benadering, wat voor biomassa een noodzaak is. Gezien de diversiteit van biomassa en het gegeven dat het een ‘jonge sector’ is kan de studie niet als finaal-éénduidig resultaat worden beschouwd.”*

**Standpunt VITO**

*“Wij zijn ons bewust van de beperkingen van de studie. De aannames en beperkingen om te komen tot de BBT zijn duidelijk doorheen het rapport aangegeven, en besproken met het begeleidingscomité. De studie biedt zoals aangegeven een overzicht van de mogelijke milieu-impact en wijst de technieken aan die beschikbaar zijn (technisch en kosteneffectief) om deze milieu-impact optimaal te beperken.”*

**Standpunt ODE Vlaanderen**

*“Bij de aanbevelingen voor de LTL ontbreken volgens ons: Gaswassingstechnieken zoals oa. natte elektrofilter, droog sorbent injectie, ontzwavelen van biogas. “*

**Standpunt VITO**

*“Deze informatie werd laattijdig aan VITO bezorgd en is daarom niet opgenomen in het rapport.”*

**Standpunt ODE Vlaanderen**

*“Het kan niet genoeg benadrukt worden dat elke installatie individueel, geval per geval, moet worden benaderd. Biomassa is een lokaal gegeven en de aldaar beschikbare brandstof is daar dan ook maatgevend en mogelijk unieke. Dit vergt extra studiewerk voor de initiatiefnemer maar is nodig om te komen tot een evenwichtige economische en ecologische benadering vanuit de vergunningverlener.”*

**Standpunt VITO**

*“Inderdaad de economische haalbaarheid (draagkracht) van de milieumaatregelen is niet onderzocht in deze horizontale studie, welke verschillende sectoren dekt. Deze zal dan ook, zoals vermeld in hoofdstuk 5, geval per geval moeten bekeken worden.”*

**Standpunt ODE Vlaanderen**

*“De opgegeven grenzen bvb. meer of minder dan 4.000 uur / asgehalte <1% / S-N > 1% ... moeten beschouwd worden als marges en niet als precies afgelijnde arbitraire richtwaarden. Dit onderstreept de noodzaak van een individuele aanpak zoals in voorgaande punten aangegeven.”*

**Standpunt VITO**

*“De gegeven ‘grenzen’ moeten beschouwd worden als ‘kantelpunten’. Deze kantelpunten, o.a. meer of minder dan 4000 bedrijfsuren per jaar, asgehalten, N-gehalten, zijn voortgevloeid uit de kosteneffectiviteitsevaluatie. Dit benadrukt inderdaad dat de BBT geval per geval moet worden bekeken, rekeninghoudend met het aantal bedrijfsuren, het vermogen en de samenstelling van de brandstof”*

**Standpunt ODE Vlaanderen**

*“Aandacht voor het “level playing field” of bewaren van het evenwicht bij concrete toepassing van fossiele versus hernieuwbare brandstoffen in “hetzelfde project”. Bijvoorbeeld als een nieuwe biomassa-installatie in de plaats van een fossiele eenheid komt, dan verdient de biomassa-eenheid de voorkeur ook al zijn de emissievoorwaarden gelijk. Biomassa is CO<sub>2</sub>-neutraal en brengt geen “nieuwe” CO<sub>2</sub> in de atmosfeer terwijl fossiele brandstoffen enkel CO<sub>2</sub> in de atmosfeer brengen. Uiteraard dient de eenheid wel milieuconform te zijn, volgens Europese normen, op het vlak van emissies.”*

**Standpunt VITO**

*“Deze BBT-studie heeft tot doel het opstellen van BBT voor de verbranding van hernieuwbare brandstoffen. De afweging voor de keuze tussen fossiele eenheden en een biomassa-eenheid maakt geen deel uit van de studie. In hoofdstuk 6 is het belang van hernieuwbare brandstoffen wel aangegeven in het kader van de globale Europese doelstelling voor 2020 van een 20% aandeel van hernieuwbare energie in het energieverbruik te bereiken en een reductie van 20% in de CO<sub>2</sub> uitstoot.”*