

**Beste Beschikbare Technieken (BBT)  
voor nieuwe, kleine en middelgrote  
stookinstallaties, stationaire motoren  
en gasturbines gestookt met fossiele  
brandstoffen**



# Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor nieuwe, kleine en middelgrote stookinstallaties, stationaire motoren en gasturbines gestookt met fossiele brandstoffen

Evelien Dils, Diane Huybrechts



Studie uitgevoerd door het Vlaams Kenniscentrum  
voor Beste Beschikbare Technieken (VITO)  
in opdracht van het Vlaams Gewest

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 accuraatheid 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 september 2011.

Lay-out en druk : Drukkerij Artoos NV

Dit boek werd gedrukt op Cocoon Recycled papier met berekening en compensatie van de CO<sub>2</sub> uitstoot.

<p><b>GEDRUKT DOOR ARTOOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>✓ ISO 14001</li><li>✓ 100% GROENE ENERGIE</li><li>✓ KLIMAATNEUTRAAL BEDRIJF</li><li>✓ MVO GEDREVEN</li></ul>	<p><b>KLIMAATNEUTRAAL GEDRUKT</b> certificaat nr.: 53520-1205-1016 www.artoos.be</p>	<p><b>ARTOOS</b> <b>AUTOMATE</b> WEB-TO-PRINT PERSONALISATION <b>CREATE</b> DESIGN DTP HTML OFFSETPRINTING DIRECT DRIVE PICK&amp;PACK SEND ADVANCE TYPOGRAPHY SINUS PREPRESS</p>
	<p> <b>RECYCLED</b> Papier gemaakt van gerecycled materiaal FSC® C007370</p>	

ISBN: 9789081690287

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

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

# INLEIDING

**Voor u ligt één van de BBT-studies die worden gepubliceerd door het BBT-centrum. Dit rapport behandelt de Beste Beschikbare Technieken voor nieuwe, kleine en middelgrote stookinstallaties, stationaire motoren en gasturbines, gestookt met fossiele brandstoffen.**

## **Wat zijn BBT-studies?**

De BBT-studies zijn rapporten die per sector de BBT beschrijven. Deze sectorrapporten worden actief en zowel digitaal ([www.vito.be](http://www.vito.be)) als in gedrukte vorm verspreid, zowel naar de overheid als naar de bedrijven.

## **Wat zijn BBT?**

Milieuvriendelijke technieken hebben als doel de milieu-impact van bedrijven te beperken. Het kunnen technieken zijn om afval te hergebruiken of te recyclen, bodem en grondwater te saneren, of afgassen en afvalwater te zuiveren. Vaker nog zijn het preventieve maatregelen die de emissie van vervuilende stoffen voorkomen en het gebruik van energie, grondstoffen en hulpstoffen verminderen. Wanneer zulke technieken, in vergelijking met alle andere, gelijkaardige technieken, ecologisch gezien het best scoren én ze bovendien betaalbaar zijn, dan spreken we over Beste Beschikbare Technieken (BBT).

## **Wat is het BBT-kenniscentrum?**

In opdracht van de Vlaamse Regering heeft de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO) in 1995 een kenniscentrum voor Beste Beschikbare Technieken (BBT) opgericht. Het BBT-kenniscentrum inventariseert informatie over milieuvriendelijke technieken, evalueert per bedrijfstak de Beste Beschikbare Technieken (BBT) en formuleert BBT-aanbevelingen naar de Vlaamse overheid en bedrijven.

Het BBT-kenniscentrum wordt, samen met het zusterproject EMIS (<http://www.emis.vito.be>) gefinancierd door het Vlaamse Gewest. Het centrum wordt begeleid door een stuurgroep met vertegenwoordigers van de Vlaamse ministers van Leefmilieu, Natuur en Energie, 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.

## **Waarom zijn BBT-studies nuttig?**

De vergunningsvoorwaarden die aan de bedrijven worden opgelegd en de ecologiepremie die in Vlaanderen van kracht is, zijn in belangrijke mate gebaseerd op de BBT. Zo geven de sectorale voorwaarden uit VLAREM II vaak de mate van milieubescherming weer die met de BBT haalbaar is. Het bepalen van BBT is dus niet alleen nuttig voor de bedrijven, maar ook als referentie voor de overheid in het kader van het vergunningenbeleid. In bepaalde gevallen verleent de Vlaamse overheid ook subsidies aan de bedrijven als zij investeren in BBT.

Het BBT-kenniscentrum werkt BBT-studies uit voor een bedrijfstak of voor een groep van gelijkaardige activiteiten. Deze studies beschrijven de BBT en geven bovendien de nodige achtergrondinformatie. Die achtergrondinformatie helpt de vergunningverlenende overheid om de dagelijkse bedrijfspraktijk beter aan te voelen. Bovendien toont ze de bedrijven de wetenschappelijke basis voor hun vergunningsvoorwaarden.

De BBT-studies formuleren ook aanbevelingen om de vergunningsvoorwaarden en de regels inzake ecologiepremie aan te passen. De ervaring leert dat de Vlaamse overheid de aanbevelingen vaak ook werkelijk gebruikt voor nieuwe milieuregelgeving. In afwachting hiervan worden de aanbevelingen echter als niet-bindend beschouwd.

## Hoe kwam deze studie tot stand?

Elke BBT-studie is het resultaat van een intensieve zoektocht in de literatuur, bezoeken aan bedrijven, samenwerking met experts in de sector, bevragingen van producenten en leveranciers, uitgebreide contacten met bedrijfs- en milieuverantwoordelijken en ambtenaren enzovoort. De beschreven BBT zijn een momentopname en bovendien niet noodzakelijk volledig: niet alle BBT die vandaag en in de toekomst mogelijk zijn, zijn in de studie opgenomen.

Voor de wetenschappelijke begeleiding van de studie werd een begeleidingscomité<sup>1</sup> samengesteld met vertegenwoordigers van industrie en overheid. Dit comité kwam vier keer samen om de studie inhoudelijk te sturen (op 3 juni 2010, 28 januari 2011, 10 mei 2011 en 14 juli 2011). 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 de leden van het begeleidingscomité. Dit rapport is echter geen compromistekst. Het weerspiegelt de technieken die het BBT-kenniscentrum op dit moment als actueel beschouwt en de aanbevelingen die daaraan beantwoorden.

<sup>1</sup> Zie de opmerking van *Essencia* in bijlage 5

# LEESWIJZER

**In Hoofdstuk 1** lichten we het begrip Beste Beschikbare Technieken (BBT) en de invulling ervan in Vlaanderen toe en schetsen vervolgens het algemene kader van de voorliggende BBT-studie.

**Hoofdstuk 2** beschrijft de sector nieuwe, kleine en middelgrote stookinstallaties, stationaire motoren en gasturbines gestookt met fossiele brandstoffen en de belangrijkste socio-economische aspecten en milieujuridische aspecten.

**In Hoofdstuk 3** komen de verschillende processen aan bod die in de sector worden toegepast. Ook de milieu-impact van deze processen wordt beschreven.

**Hoofdstuk 4** geeft een overzicht van de technieken die de sector kan toepassen om milieuhinder te voorkomen of te beperken.

**In Hoofdstuk 5** evalueren we deze milieuvriendelijke technieken en selecteren we de BBT. Niet alleen de technische haalbaarheid, maar ook de milieuvoordelen en de economische haalbaarheid (kostenhaalbaarheid en -effectiviteit) worden daarbij in rekening gebracht.

**Hoofdstuk 6** geeft ten slotte aanbevelingen op basis van de BBT. Dit omvat aanbevelingen voor de milieuregelgeving, voor ecologiepremie en voor verder onderzoek.





# 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 nieuwe, kleine en middelgrote stookinstallaties, stationaire motoren en gasturbines gestookt met fossiele brandstoffen in kaart gebracht.

Het doel van deze BBT-studie is om eerst en vooral de beschikbare informatie betreffende de milieu-impact van het gebruik van kleine en middelgrote stookinstallaties, stationaire motoren en gasturbines te verzamelen. Vervolgens is nagegaan welke milieumaatregelen beschikbaar zijn om deze milieu-impact te beperken en/of te reduceren. De studie richt zich voornamelijk op de technieken die betrekking hebben op het verminderen van  $\text{NO}_x$ -,  $\text{SO}_2$ - en stofemissies. Deze analyse vormt de basis voor het formuleren van de BBT voor deze installaties en geeft een eerste inzicht in de haalbare emissieniveaus.

Zoals reeds vermeld, richt deze studie zich specifiek op nieuwe installaties, dit wil zeggen nog te installeren en te vergunnen installaties. Het betreft daarnaast enkel de kleine en middelgrote installaties, met een vermogen tussen 300 kW<sub>th</sub> en 50 MW<sub>th</sub>.

Stookinstallaties, motoren en gasturbines zetten de chemische energie van verschillende brandstoffen om in thermische energie (warmte). Deze warmte wordt ofwel rechtstreeks gebruikt, ofwel wordt de thermische energie omgezet in mechanische energie (arbeid) die op zijn beurt omgezet kan worden in elektrische energie. De kleine en middelgrote stookinstallaties kennen een brede range van toepassingen. Men vindt ze terug in tuinbouwtoepassingen, ziekenhuizen, chemische bedrijven en andere industriële sectoren. Stookinstallaties en stationaire motoren vormen dus geen sector op zich. Daarnaast kunnen de installaties bedreven worden op tal van brandstoffen: vaste fossiele brandstoffen zoals steenkool, vloeibare fossiele brandstoffen zoals gasolie (lichte stookolie) en gasvormige fossiele brandstoffen zoals aardgas.

De BBT-studie is onder andere gebaseerd op beschikbare literatuur in binnen- en buitenland, beperkte meetgegevens en kostprijsgegevens, berekeningen van kosten en emissies, bedrijfsbezoeken en regelmatig overleg met vertegenwoordigers van federaties, leveranciers en de milieuadministraties. Het formeel overleg met de sector en de overheid gebeurde in het begeleidingscomité.

De evaluatie van de technische haalbaarheid en de milieuaspecten is gebeurd voor een breed gamma van technieken. Om voor deze horizontale BBT-studie tot BBT-conclusies te komen, bleek de economische haalbaarheid een cruciaal aspect. Voor de inschatting van de economische haalbaarheid, is gekeken naar de kosteneffectiviteit van de maatregelen enerzijds, en de procentuele kostenstijging anderzijds. De kosteneffectiviteit (kost per ton gereduceerde emissie) vereist enerzijds kostprijsinformatie voor het inschatten van investerings- en operationele kosten en anderzijds informatie omtrent de reductieredementen van de technieken en dus de haalbare emissieniveaus.

Aangezien het hier enkel nieuwe installaties betreft, zijn er in principe geen meetgegevens beschikbaar van installaties in gebruik. De inschatting van de reële emissiegegevens haalbaar met dergelijke stookinstallaties is dus voornamelijk gebaseerd op de leveranciersinformatie en de door de leveranciers gegarandeerde emissiewaarden. Dit biedt uiteraard enkel nog maar een beeld van de haalbare emissieniveaus van de installaties in basisuitvoering, zoals zij doorgaans op de markt komen. Welk niveau van emissies haalbaar is bij gebruik van nageschakelde technieken, op basis van reductieredementen, is ingeschat op basis van literatuurinformatie. Hetzelfde geldt voor de kostprijsinformatie voor de reductietechnieken: aangezien de huidige wetgeving slechts zelden dergelijke technieken vereist is er bij deze vermogens weinig praktische ervaring en zijn er dus weinig of geen reële kostprijsgegevens. Daarom is ook hiervoor beroep gedaan op literatuurinformatie.

Voor de beoordeling van de kosteneffectiviteit wordt gewerkt met een indicatieve referentierange. De procentuele kostenstijging en dus kostenhaalbaarheidsanalyse is erg sectorafhankelijk en is in deze studie dus moeilijk te toetsen aan een referentie. De berekening van deze indicator is dan ook eerder gezien als aanvullende informatie.

Bij de evaluatie van de economische haalbaarheid en dus de selectie van de BBT spelen het aantal draaiuren, het vermogen en de investeringskost een belangrijke rol. Onzekerheden op kostprijsgegevens zijn in rekening gebracht door het berekenen van verschillende scenario's en gevoeligheidsanalyses.

Op basis van bovenstaande aannames en vaststellingen zijn BBT conclusies geformuleerd. De BBT-conclusies hebben enerzijds betrekking op de technieken die als BBT geselecteerd zijn voor de verschillende types van installaties, en anderzijds op de emissiewaarden die met deze technieken haalbaar zijn. Voor de volledige bespreking van de aannames en resultaten wordt verwezen naar hoofdstuk 5 en 6 van deze studie, alsook de tabellen te raadplegen op de EMIS website (kosteneffectiviteitsberekeningen).

Voor nieuwe, kleine en middelgrote *stookinstallaties op vaste fossiele brandstoffen* blijkt op basis van de BBT-analyse een verstrenging van de bestaande sectorale emissiegrenswaarden mogelijk, zowel voor  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  als voor stof. Dergelijke installaties kennen vooral toepassingen in de tuinbouw. In principe is SNCR of SCR onder alle omstandigheden (vermogen, draaiuren) BBT – afhankelijk van het kostprijsscenario van SCR – voor de reductie van  $\text{NO}_x$ -emissies, behalve bij de kleinste vermogens tot  $1 \text{ MW}_{\text{th}}$ . Voor stofemissies is een multicycloon ( $1 < 5 \text{ MW}_{\text{th}}$  en  $> 4000 \text{ u}$ ,  $5 < 20 \text{ MW}_{\text{th}}$  en  $< 4000 \text{ u}$ ), stofwasser ( $5 < 20 \text{ MW}_{\text{th}}$  en  $> 4000 \text{ u}$ ,  $20 < 50 \text{ MW}_{\text{th}}$  en  $< 4000 \text{ u}$ ) en een doekenfilter/ESP ( $20 < 50 \text{ MW}_{\text{th}}$  en  $> 4000 \text{ u}$ ) BBT. Voor de installaties tot  $1 \text{ MW}_{\text{th}}$  en tussen 1 en  $5 \text{ MW}_{\text{th}}$  en minder dan 4000 draaiuren, is geen nageschakelde techniek BBT. Een keuze tussen de maatregelen kan nodig zijn bij vertaling in het beleid: indien alle technieken worden opgelegd is de kost veel groter en kan het zijn dat de combinatie geen BBT meer is. De BBT evaluatie gebeurt echter op niveau van individuele technieken: combinaties van technieken worden niet als dusdanig beschouwd. End-of-pipetechnieken zijn enkel BBT in combinatie met de nodige primaire maatregelen (bv. optimale verbranding, goed ketelontwerp, ...).

Voor nieuwe, kleine en middelgrote *stookinstallaties op vloeibare fossiele brandstoffen* is de BBT-analyse gebeurd per brandstof, namelijk residuele brandstoffen en gasolie verwarming. Naast end-of-pipetechnieken is hier ook de keuze voor een schonere vloeibare fossiele brandstof bekeken (fuel switch). Voor residuele brandstoffen is voor  $\text{NO}_x$ -reductie SNCR of SCR de BBT (in combinatie met een lage  $\text{NO}_x$  brander), afhankelijk van het kostprijsscenario. Enkel voor installaties tot  $1 \text{ MW}_{\text{th}}$  en minder dan 4000 draaiuren is de BBT enkel een nieuwe lage  $\text{NO}_x$  brander en bijhorend optimaal ontwerp. Een extra nageschakelde techniek is hier dus geen BBT. Voor gasolie verwarming is deze laatste techniek de BBT voor installaties tot  $5 \text{ MW}_{\text{th}}$ , SNCR of SCR is de BBT voor de andere vermogens, afhankelijk van het kostprijsscenario.

$\text{SO}_2$ -emissies zijn afhankelijk van de zwavelinhoud van de gebruikte brandstof, wat sterk kan verschillen bij vloeibare fossiele brandstoffen (van 1%S bij residuele brandstoffen tot 0,005%S voor gasolie verwarming extra). Hoewel enkele end-of-pipetechnieken als de BBT uit de analyse komen, is een beleid gericht op de brandstofkwaliteit hier aangewezen.

Er valt echter op te merken dat de BBT-analyse hier resultaten geeft die niet één op één kunnen worden vergeleken met VLAREM II omdat daarin geen onderscheid naar deze brandstoffen wordt gemaakt. Dit biedt uiteraard de mogelijkheid om voor bepaalde vermogens duidelijk de voorkeur te geven aan een bepaalde brandstof, zoals gasolie in plaats van residuele brandstoffen. Uiteraard blijft een keuze door het beleid tussen de maatregelen nodig: indien alle technieken worden opgelegd is de kost veel groter en kan de combinatie geen BBT meer zijn.

Voor nieuwe, kleine en middelgrote *stookinstallaties op aardgas* is de BBT voor NO<sub>x</sub>-reductie een nieuwe lage NO<sub>x</sub>-brander met optimaal ketelontwerp. Voor installaties vanaf 5 MW<sub>th</sub> en meer dan 4000 draaiuren is SNCR of SCR de BBT, afhankelijk van het kostprijsscenario. Een verstrenging van de huidige emissiegrenswaarden is daardoor over de hele lijn mogelijk.

Voor nieuwe, kleine en middelgrote *stationaire motoren* (>360 draaiuren) zijn over de hele lijn verschillende verstrengingen van de emissiegrenswaarden mogelijk. Voor dieselmotoren is de analyse weer uitgevoerd per brandstof, in tegenstelling tot hoe VLAREM II nu ingedeeld is. uiteraard dient ook hier benadrukt te worden dat het beleid een keuze dient te maken tussen verschillende technieken die afzonderlijk als BBT zijn beschouwd. Dit is voornamelijk van belang bij dieselmotoren, waar zowel NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> als stof belangrijke milieuparameters zijn. Bij gasmotoren is enkel NO<sub>x</sub> een aandachtspunt en speelt dit dus minder. Een combinatie van technieken die afzonderlijk als de BBT zijn beoordeeld, is niet noodzakelijk nog kosteneffectief of –haalbaar en dus mogelijks geen BBT meer. Opnieuw zijn de end-of-pipetechnieken enkel BBT in combinatie met primaire maatregelen.

Voor gasturbines werden geen nieuwe aanbevelingen gemaakt.

Bij het vertalen van deze BBT conclusies tot vergunningsvoorwaarden spelen naast BBT ook andere beleidsaspecten mee, o.a. milieukwaliteitsdoelstellingen en Europese Richtlijnen rond nationale emissieplafonds. Aangezien al deze aspecten moeten bekeken worden bij het vertalen van de BBT-conclusies en geassocieerde emissieniveaus naar wetgeving, moeten de aanbevelingen uit hoofdstuk 6 kritisch bekeken worden.



# 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. In this study, the BAT are selected for new, small and medium combustion installations, stationary combustion engines and gas turbines that burn fossil fuels.

First of all, this study aims to gather available information with regard to the environmental impact of burning fossil fuels in small and medium combustion installations, stationary combustion engines and gas turbines. Next, measures for emission prevention and/or reduction are presented. These techniques are mostly focused on emissions of  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  and particulates. The measures and techniques described make up the basis for the evaluation of the BAT and give a first insight into the achievable emission levels.

This BAT study focuses specifically on new installations, which means installations that are not yet installed nor authorized with a permit, with a thermal output power between 300 kW<sub>th</sub> and 50 MW<sub>th</sub>.

Combustion installations, engines and gas turbines transform the chemical energy of different fuels into thermal energy (heat). This heat can either be used as such or be transformed further into mechanical energy and even further into electricity. Small and medium combustion installations can be found in a wide range of applications: horticulture, hospitals, chemical companies and other industrial sectors. Different types of fossil fuels can be burned: solid fuels e.g. coal, liquid fuels e.g. fuel oil and gaseous fuels e.g. natural gas.

The BAT selection in this study is based on plant visits, a literature survey, a technical and socio-economic study, cost calculations, and discussions with industry experts and authorities. The formal consultation was organised by means of an advisory committee, with members from the Government as well as sector representatives.

An evaluation of the technical feasibility and the environmental aspects is performed for a broad range of measures. An estimation of the economic feasibility is made by calculating the cost effectiveness of the measures as well as the affordability (relative increase of costs). To calculate the cost effectiveness (cost per ton emissions reduced) information on investment and operational costs of the environmental measures on the one hand and emission reduction efficiencies (i.e. the achievable emission levels) on the other is required.

Since this study only focuses on new installations, the availability of measured data of operational installations is rather limited: most data come from producers and are therefore mostly relevant in laboratory conditions. The level of reduction achievable with the different prevention and reduction techniques as well as the cost of these techniques are estimated based on the available literature. Actual data of installations with end-of-pipe techniques in operation are not that readily available. The legislation in Flanders as it is now does not yet oblige companies to implement most of these techniques.

To evaluate whether an emission reduction technique is cost effective or not, a reference value is needed. In this study, an indicative range is used. Affordability of a technique is much harder to evaluate, as it is a very sector-specific issue and therefore hard to evaluate in this type of horizontal BAT study.

When evaluating the economic feasibility of the measures, the number of operational hours, the output power and the investment costs are important parameters. Uncertainties in cost data are taken into account by calculating different price scenarios as well as sensitivity analysis.

Based on the assumptions described above, BAT conclusions are formulated. In the conclusions, first the BAT are pointed out. Then the BAT achievable emission levels are identified. To get a complete overview of the assumptions and conclusions, we refer to chapter 5 and 6 of this study, as well as the tables in annex 3 (calculation of the cost effectiveness).

### Summary of the BAT conclusions

New, small and medium *combustion installations on solid fossil fuels* seem to be used mostly in horticulture. Generally, SNCR or SCR (depending on the cost scenario of SCR) is BAT in all circumstances (power, operational hours) to reduce  $\text{NO}_x$ , except for the smallest installations below  $1 \text{ MW}_{\text{th}}$ . To reduce emissions of particulates, a cyclone ( $1 < 5 \text{ MW}_{\text{th}}$  and  $> 4000 \text{ h}$ ,  $5 < 20 \text{ MW}_{\text{th}}$  and  $< 4000 \text{ h}$ ), wet scrubber ( $5 < 20 \text{ MW}_{\text{th}}$  and  $> 4000 \text{ h}$ ,  $20 < 50 \text{ MW}_{\text{th}}$  and  $< 4000 \text{ h}$ ) and fabric filter or ESP ( $20 < 50 \text{ MW}_{\text{th}}$  and  $> 4000 \text{ h}$ ) are BAT. To reduce particulate emissions of installations  $< 1 \text{ MW}_{\text{th}}$  and  $1-5 \text{ MW}_{\text{th}}$  and  $< 4000$  hours, none of the end-of-pipe techniques was selected as BAT.

For new, small and medium *combustion installations on liquid fossil fuels* the BAT analysis is specifically done per fuel type, making a distinction between heavy fuel oil (1% S) and light fuel oil (0,1% S). In addition to the end-of-pipe techniques also fuel switch from heavy to light fuel oil is analysed.

For the reduction of  $\text{NO}_x$  when burning heavy fuel oil, SNCR or SCR is BAT depending on the cost scenario for SCR. Only for installations below  $1 \text{ MW}_{\text{th}}$  and less than 4000 operational hours a year, a low- $\text{NO}_x$  burner is BAT.

For light fuel oil, a low- $\text{NO}_x$  burner is BAT for all installations burning this fuel up to  $5 \text{ MW}_{\text{th}}$  and SNCR or SCR is BAT for larger installations (depending on cost scenario for SCR).

$\text{SO}_2$  emissions depend on the sulphur content of the fuel. Although some end-of-pipe techniques are BAT, policy can also focus on the quality of the fuel and the sulphur content to reduce these emissions.

The BAT conclusions for liquid fossil fuels are difficult to compare with the current legislation in the VLAREM II because in current legislation, no distinction is made between the fuel types.

For new, small and medium *combustion installations on natural gas* the BAT for reduction of  $\text{NO}_x$ -emissions is a new, low- $\text{NO}_x$  burner combined with optimal design. For installations above  $5 \text{ MW}_{\text{th}}$  and more than 4000 operation hours a year, SNCR or SCR is BAT (depending on the cost scenario for SCR).

The current legislation for new, small and medium *stationary combustion engines* ( $> 360$  hours) can be made more stringent for all emission limit values. For gas engines, the emission of  $\text{NO}_x$  is the most relevant environmental parameter, for which SCR is BAT. Diesel engines are again analysed for each type of fuel. This makes a comparison with the current emission limit values rather difficult since this distinction is not made in VLAREM II.

For *gas turbines* no new recommendations were formulated.

When translating the BAT conclusions and recommendations into legislation, other policy issues can play an important role as well, such as European Directives on national emission ceilings or environmental quality objectives. Since all these aspects should be taken into account when translating BAT conclusions and associated emission levels into legislation, the conclusions in chapter 6 should be critically evaluated.

# INHOUD

<b>INLEIDING</b>	<b>3</b>
<b>LEESWIJZER</b>	<b>5</b>
<b>SAMENVATTING</b>	<b>7</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>11</b>
<b>INHOUD</b>	<b>13</b>
<b>LIJST VAN TABELLEN</b>	<b>15</b>
<b>LIJST VAN FIGUREN</b>	<b>17</b>
<b>LIJST VAN AFKORTINGEN</b>	<b>19</b>
<b>HOOFDSTUK 1 INLEIDING</b>	<b>21</b>
1.1 <i>Beste Beschikbare Technieken in Vlaanderen</i>	23
1.1.1 Definitie	23
1.1.2 Beste Beschikbare Technieken als begrip in het Vlaamse milieubeleid	23
1.2 <i>De BBT-studie 'nieuwe, kleine en middelgrote stookinstallaties, stationaire motoren en gasturbines gestookt met fossiele brandstoffen'</i>	25
1.2.1 Doelstellingen van de studie	25
1.2.2 Inhoud van de studie	26
<b>HOOFDSTUK 2 SOCIO-ECONOMISCHE EN MILIEUJURIDISCHE SITUERING VAN DE SECTOR</b>	<b>27</b>
2.1 <i>Afbakening van de studie en definities</i>	29
2.2 <i>Socio-economische situering</i>	30
2.3 <i>Bedrijfskolom</i>	31
2.4 <i>Milieu-juridische aspecten</i>	31
2.4.1 Milieuvergunningvoorwaarden	32
2.4.2 Overige Vlaamse regelgeving	47
2.4.3 Europese richtlijnen en internationaal beleid	47
2.4.4 Buitenlandse wetgeving	50
<b>HOOFDSTUK 3 PROCESBESCHRIJVING</b>	<b>57</b>
3.1 <i>Procesbeschrijving - Stookinstallaties</i>	59
3.1.1 Brandstoftypes	59
3.1.2 Brandertypes	64
3.1.3 Afvoer bodemassen	65
3.1.4 Ontwerptemperatuur	65
3.2 <i>Procesbeschrijving - Verbrandingsmotoren en gasturbines</i>	66
3.2.1 Gasmotor	66
3.2.2 Dieselmotor	68
3.2.3 Gasturbine	69
3.3 <i>Warmteproductie, elektriciteitsopwekking en WKK</i>	70
3.3.1 Warmteproductie in ketelsystemen	70
3.3.2 Elektriciteitsopwekking	72
3.3.3 WKK	72
3.4 <i>Milieuaspecten</i>	73
3.4.1 Energie-efficiëntie	74
3.4.2 Emissies naar lucht	74
<b>HOOFDSTUK 4 BESCHIKBARE MILIEUVRIENDELIJKE TECHNIEKEN</b>	<b>81</b>
4.1 <i>Emissies naar de lucht</i>	83
4.1.1 Preventieve maatregelen	83

4.1.2	Procesgeïntegreerde maatregelen .....	86
4.1.3	End of pipe technieken .....	95
4.2	Verhogen energie-efficiëntie .....	110
4.3	Algemene bevindingen .....	112
4.3.1	Stookinstallaties .....	113
4.3.2	Stationaire motoren .....	116
<b>HOOFDSTUK 5</b>	<b>SELECTIE VAN DE BESTE BESCHIKBARE TECHNIEKEN (BBT)</b> .....	<b>121</b>
5.1	<i>Methodiek</i> .....	123
5.2	<i>Economische analyse van technieken</i> .....	130
5.2.1	Keuze van de referentie-installatie voor kostenevaluatie .....	130
5.2.2	Gebruikte basisgegevens en scenario's .....	133
5.2.3	Berekening meerkost, milieuwinst en kosteneffectiviteit .....	134
5.2.4	Toetsing kosteneffectiviteiten en bespreking .....	135
5.2.5	Berekening procentuele kostenstijging en inschatting van de kostenhaalbaarheid .....	140
5.3	<i>Evaluatie van beschikbare milieuvriendelijke technieken</i> .....	149
5.4	<i>BBT-conclusies</i> .....	166
<b>HOOFDSTUK 6</b>	<b>AANBEVELINGEN OP BASIS VAN DE BESTE BESCHIKBARE MILIEUVRIENDELIJKE TECHNIEKEN</b> .....	<b>173</b>
6.1	<i>Aanbevelingen voor milieuregelgeving</i> .....	175
6.1.1	Inleiding .....	175
6.1.2	Stookinstallaties .....	175
6.1.3	Stationaire motoren .....	180
6.1.4	Gasturbines .....	183
6.1.5	Toetsing van het voorstel aan de huidige emissiegrenswaarden .....	183
6.2	<i>Aanbevelingen voor ecologiepremie</i> .....	186
6.2.1	Inleiding .....	186
6.2.2	Toetsing van milieuvriendelijke technieken aan criteria voor ecologiepremie .....	188
6.2.3	Aanbevelingen voor LTL .....	189
<b>LITERATUURLIJST</b>	.....	<b>191</b>
<b>BIJLAGE 1: MEDEWERKERS VAN BBT-STUDIE</b>	.....	<b>193</b>
<b>BIJLAGE 2: BUITENLANDSE WETGEVING</b>	.....	<b>197</b>
<b>BIJLAGE 3: BEREKENINGEN KOSTENEFFECTIVITEIT</b>	.....	<b>227</b>
<b>BIJLAGE 4: GEVOELIGHEIDSANALYSE PROCENTUELE KOSTENSTIJGING</b>	.....	<b>229</b>
<b>BIJLAGE 5: FINALE OPMERKINGEN</b>	.....	<b>237</b>



# LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1:	Energieverbruik door alle stookinstallaties en stationaire motoren in Vlaanderen (Aernouts, et al., 2009).....	30
Tabel 2:	Uittreksel van de betreffende rubrieken uit de indelingslijst van VLAREM I .....	33
Tabel 3:	Overzicht van de algemene emissiegrenswaarden (bijlage 4.4.2 van VLAREM II) .....	37
Tabel 4:	Sectorale emissiegrenswaarden voor vast opgestelde motoren (art.5.31.1.2. en art.5.31.2.2.).....	39
Tabel 5:	Sectorale emissiegrenswaarden voor kleine en middelgrote stookinstallaties (art.5.43.2.2.1 en 5.43.2.3.1) .....	41
Tabel 6:	Emissiegrenswaarde voor grote stookinstallaties (art.5.43.2.1.1).....	43
Tabel 7:	Sectorale emissiegrenswaarden voor gasturbines en stoom- en gasturbine installaties (art.5.43.3.1.) .....	44
Tabel 8:	Overzicht van de geldende meetverplichtingen in VLAREM II voor verbrandingsinstallaties, motoren en gasturbines .....	46
Tabel 9:	Overzicht doelstelling voor België (NEC Richtlijn) en hieruit afgeleide emissieplafonds voor het Vlaams Gewest, en reductiepercentages t.o.v. 1990.....	49
Tabel 10:	Emissiegrenswaarden (mg/Nm <sup>3</sup> ) voor nieuwe stookinstallaties op vaste brandstoffen in 5 Europese landen (6% O <sub>2</sub> ).....	51
Tabel 11:	Emissiegrenswaarden (mg/Nm <sup>3</sup> ) voor nieuwe stookinstallaties op vloeibare brandstoffen in 5 Europese landen(3% O <sub>2</sub> ).....	52
Tabel 12:	Emissiegrenswaarden (mg/Nm <sup>3</sup> ) voor stookinstallaties op aardgas in 5 Europese landen (3% O <sub>2</sub> ) ..	53
Tabel 13:	Emissiegrenswaarden (mg/Nm <sup>3</sup> ) voor gasturbines in 4 Europese landen (15% O <sub>2</sub> ).....	54
Tabel 14:	Emissiegrenswaarden (mg/Nm <sup>3</sup> ) voor stationaire motoren in 4 Europese landen (5% O <sub>2</sub> ).....	55
Tabel 15:	De geschatte bijdrage tot de totale Europese emissies te wijten aan verbrandingsinstallaties ≤ 50 MW <sub>thr</sub> , berekend in het RAINS model.....	75
Tabel 16:	Gemiddelde stikstofinhoud van verschillende fossiele brandstoffen .....	76
Tabel 17:	Vergelijking tussen SCR en EMxTM (2 <sup>e</sup> generatie SCONO <sub>x</sub> ) .....	110
Tabel 18:	Voorgestelde emissiegrenswaarden & overeenkomstige reductietechnieken voor stofemissies van stookinstallaties met een capaciteit (1-50MW) .....	116
Tabel 19:	Voorgestelde emissiegrenswaarden bij 15% O <sub>2</sub> (5% O <sub>2</sub> ) voor NO <sub>x</sub> door verbranding in stationaire motoren (EGTEI stationary engines sub-group, 2008) .....	119
Tabel 20:	Referentiewaarden voor het beoordelen van kosteneffectiviteit van een maatregel (VROM, 2001) .....	125
Tabel 21:	Externe kost van impact van de gegeven pollutanten bij een verschillende schoorsteen/emissie hoogte (de Bruyn et al, 2010) .....	127
Tabel 22:	Schaduw prijzen op basis van preventiekosten (de Bruyn et al, 2010) .....	128
Tabel 23:	Overzicht van referentie-installaties en haalbare emissiewaarden gebruikt in de economische analyses.....	131
Tabel 24:	Overzicht van de als kosteneffectief beschouwde maatregelen .....	136
Tabel 25:	Overzicht van de berekende % kostenstijging voor NO <sub>x</sub> .....	141
Tabel 26:	Overzicht van de berekende % kostenstijging voor SO <sub>2</sub> .....	143
Tabel 27:	Overzicht van de berekende % kostenstijging voor stof.....	145
Tabel 28:	Evaluatie van beschikbare milieuvriendelijke technieken en selectie van BBT voor stookinstallaties op vaste fossiele brandstoffen .....	150
Tabel 29:	Evaluatie van beschikbare milieuvriendelijke technieken en selectie van BBT voor stookinstallaties op residuele brandstoffen (vb. zware stookolie) .....	154

Tabel 30: Evaluatie van beschikbare milieuvriendelijke technieken en selectie van BBT voor stookinstallaties op gasolie verwarming (i.e. lichte stookolie).....	157
Tabel 31: Evaluatie van beschikbare milieuvriendelijke technieken en selectie van BBT voor stookinstallaties op aardgas.....	160
Tabel 32: Evaluatie van beschikbare milieuvriendelijke technieken en selectie van BBT voor stationaire gasmotoren.....	162
Tabel 33: Evaluatie van beschikbare milieuvriendelijke technieken en selectie van BBT voor stationaire dieselmotoren.....	163
Tabel 34: Overzicht van de als BBT beschouwde technieken.....	167
Tabel 35: BBT en geassocieerde emissieniveaus voor nieuwe stookinstallaties op vaste fossiele brandstoffen.....	176
Tabel 36: BBT en geassocieerde emissieniveaus voor nieuwe stookinstallaties op residuele brandstoffen (e.g. zware stookolie 1% S).....	177
Tabel 37: BBT en geassocieerde emissieniveaus voor nieuwe stookinstallaties op gasolie verwarming (lichte stookolie 0,1% S).....	179
Tabel 38: BBT en geassocieerde emissieniveaus voor nieuwe stookinstallaties op aardgas.....	180
Tabel 39: BBT en geassocieerde emissieniveaus voor nieuwe stationaire gasmotoren (> 360 u).....	181
Tabel 40: BBT en geassocieerde emissieniveaus voor nieuwe stationaire dieselmotoren op residuele brandstoffen (1% S) (> 360 u).....	181
Tabel 41: BBT en geassocieerde emissieniveaus voor nieuwe stationaire dieselmotoren op gasolie verwarming (0,1%S) (> 360 u).....	182
Tabel 42: BBT en geassocieerde emissieniveaus voor nieuwe stationaire dieselmotoren op gasolie verwarming extra (0,005%S) (> 360 u).....	183
Tabel 43: Huidige emissiegrenswaarden in VLAREM II voor gasturbines < 50 MW.....	183

# LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1: Voornaamste economische actoren i.v.m. verbrandingsinstallaties .....	31
Figuur 2: Voorbeeld van een trappenrooster (schuin rooster) (BTG, 2005).....	60
Figuur 3: Onderschroefstelsysteem (BTG, 2005).....	60
Figuur 4: Spreader stoker (EIPPC, 2006).....	61
Figuur 5: Inblaassysteem (BTG, 2005).....	62
Figuur 6: Wervelbedverbranding in a) een stationair (bubbling) bed of b) een circulerend bed (EIPPC, 2006)	63
Figuur 7: Voorbeelden van brandersystemen (EIPPC, 2006).....	65
Figuur 8: Geïdealiseerd p-V diagram van de Otto-cyclus .....	67
Figuur 9: Geïdealiseerd p-V diagram van de Dieselcyclus .....	68
Figuur 10: Schematische voorstelling van een gasturbine .....	70
Figuur 11: Voorbeeld van een drietreks vlampijpketel (Spirax Sarco, 2010) .....	71
Figuur 12: Voorbeeld van een waterpijpketel (Spirax Sarco, 2010).....	72
Figuur 13: Vergelijking van de brandstofbenutting bij gescheiden opwekking van warmte en elektriciteit, en bij WKK .....	73
Figuur 14: Jaarlijkse werkingskost voor RGR voor verschillende stoomketels.....	89
Figuur 15: Kostencurven opgesteld voor de inschatting van de potentiële NO <sub>x</sub> -(boven) en SO (onder)- reductie voor Vlaanderen (VITO-Ecolas, 2005).....	126
Figuur 16: Selectie van BBT op basis van scores voor verschillende criteria .....	129
Figuur 17: Gevoeligheidsanalyse: voorbeeld van de invloed van schommeling in brandstofprijzen op de procentuele kostenstijging .....	147



## LIJST VAN AFKORTINGEN

BAT	Best Available Techniques
BBT	Beste Beschikbare Technieken
BS	Belgisch Staatsblad
BZV	Biologische ZuurstofVerbruik
CZV	Chemisch ZuurstofVerbruik
ESP	Elektrostatische precipitator
FBC	Fluidized Bed Combustion = Wervelbedverbranding
FGR	Flue gas Recirculation = Rookgasrecirculatie
K.B.	Koninklijk Besluit
kW	Kilowatt
kWe	Kilowatt elektrisch
kW <sub>th</sub>	Kilowatt thermisch
LEA	Low Excess Air = Lage luchtvermaat
LNE	Departement Leefmilieu, Natuur en Energie van de Vlaamse overheid
MW	Megawatt
MW <sub>th</sub>	Megawatt thermisch
n.v.t.	niet van toepassing
n.v.w.b.	niet visueel waarneembaar
NACE	Nomenclature générale des Activités économiques dans les Communautés
NBB	Nationale Bank van België
NEC	National Emission Ceilings
NIS	Nationaal Instituut voor de Statistiek
NMVOS	Niet-methaan vluchtige organische stoffen
OFA	Over-fire Air
OVAM	Openbare Afvalstoffenmaatschappij voor het Vlaamse Gewest
PEES	Petroleum Ether Extraheerbare Stoffen
RSZ	Rijksdienst voor Sociale Zekerheid
RWZI	rioolwaterzuiveringsinstallatie
SCR	Selective catalytic reduction = Selectieve katalytische reductie
SNCR	Selective non catalytic reduction = Selectieve niet-katalytische reductie
v.g.t.g.	in de vergunning toegelaten gehalte of van geval tot geval
VAMIL	Versnelde Afschrijving Milieu-investering
VE	vervuilingseenheid
VITO	Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek
Vlarebo	Vlaams Reglement betreffende de Bodemsanering
VMM	Vlaams Milieumaatschappij
VROM	ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer



# HOOFDSTUK 1 INLEIDING

In dit hoofdstuk lichten we eerst het begrip Beste Beschikbare Technieken (BBT) toe. Vervolgens schetsen we het algemene kader van deze Vlaamse BBT-studie. Onder meer de doelstellingen, de inhoud, de begeleiding en de werkwijze van de BBT-studie worden verduidelijkt.





## 1.1 Beste Beschikbare Technieken in Vlaanderen

### 1.1.1 Definitie

Het begrip “Beste Beschikbare Technieken”, afgekort BBT, wordt in VLAREM I, 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;

- “technieken”: zowel de toegepaste technieken als de wijze waarop de installatie wordt ontworpen, gebouwd, onderhouden, geëxploiteerd en ontmanteld;
- “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;
- “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 de de nieuwe, kleine en middelgrote stookinstallaties, stationaire motoren en gasturbines in Vlaanderen.

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

#### → Achtergrond

Bijna elke menselijke activiteit (b.v. 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.

Ook in de meeste andere geïndustrialiseerde landen kan het BBT-principe worden teruggevonden in de milieuregelgeving, 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 milieuvergunningsvoorwaarden. Dergelijke voorwaarden die aan inrichtingen in Vlaanderen worden opgelegd steunen op twee pijlers:

- de toepassing van de BBT;
- de resterende milieu-effecten 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 milieuvergunningsvoorwaarden. Eind 2010 werd de nieuwe 'Richtlijn inzake Industriële Emissies' (IED – 2010/75/EC) goedgekeurd. Deze richtlijn omvat een herziening van de IPPC Richtlijn, en een integratie met zes andere richtlijnen (de Richtlijn grote stookinstallaties, de Afvalverbrandingsrichtlijn, de Oplosmiddelenrichtlijn en drie Richtlijnen voor de titaniumdioxide). Met de IED wordt de reikwijdte uitgebreid ten opzichte van de oorspronkelijke IPPC Richtlijn en wordt een betere afstemming met o.a. de Kaderrichtlijn Afval en de Kaderrichtlijn Water betracht.

### → Concretisering van het begrip

Om concreet inhoud te kunnen geven aan het begrip BBT, dient de algemene definitie van VLAREM 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.

## 1.2 De BBT-studie 'nieuwe, kleine en middelgrote stookinstallaties, stationaire motoren en gasturbines gestookt met fossiele brandstoffen'

### 1.2.1 Doelstellingen van de studie

Stookinstallaties, stationaire motoren en gasturbines zijn machines die de chemische energie van brandstoffen omzetten in thermische energie (warmte). Deze thermische energie wordt ofwel rechtstreeks gebruikt ofwel omgezet in mechanische energie (arbeid). De arbeid kan op zijn beurt weer worden omgezet in elektrische energie.

Kleine en middelgrote stookinstallaties, verbrandingsmotoren en gasturbines worden in tal van sectoren toegepast. De voornaamste categorieën van bedrijven zijn:

- Glastuinbouw;
- Kleine en middelgrote bedrijven (industrie);
- Gebouwencomplexen: kantoren, warenhuizen, ...;
- Gezondheidszorg: ziekenhuizen, ...;
- ...

Het is duidelijk dat het in deze studie niet zal gaan om een sector op zich, maar om installaties die zeer verspreid worden ingezet. De studie is dus horizontaal of sectoroverschrijdend, in tegenstelling tot de klassieke, verticale sectorstudies.

We willen nagaan welke emissies haalbaar zijn voor nieuwe installaties, met welke technieken en tegen welke kost. De verzamelde informatie kan door de overheid gebruikt worden om emissiegrenswaarden vast te leggen.

Deze studie dient als aanvulling en gedeeltelijke update van de 'BBT-studie voor stookinstallaties en stationaire motoren' van 2002 (Goovaerts, et al., 2002). In die studie werd de focus gelegd op grote stookinstallaties, met een thermisch vermogen groter dan 50 MW. Voorliggende studie wil ook de kleine en middelgrote stookinstallaties bekijken.

Het betreft in deze studie enkel nieuwe installaties. Onder het begrip 'nieuwe' verstaan we hier nog aan te kopen en te vergunnen installaties. Het gaat specifiek over kleine (thermisch vermogen tussen 300 kW en 5 MW) en middelgrote (thermisch vermogen tussen 5 en 50 MW) stookinstallaties, zoals gedefinieerd in VLAREM. Voor stationaire motoren en gasturbines ligt de ondergrens bij 10 kW.

De laatste jaren zijn, naast de installaties voor de verbranding van fossiele brandstoffen, ook die voor de verbranding van hernieuwbare brandstoffen (o.a. biomassa en biomassa-afval) in opmars. Hierbij betreft het voornamelijk verbranding in kleine en middelgrote installaties. Verbranding van hernieuwbare brandstoffen werd bekeken in de BBT studie 'Beste Beschikbare Technieken voor verbranding van hernieuwbare brandstoffen' van L. Goovaerts uit 2008. Verbranding van vaste, vloeibare en gasvormige fossiele brandstoffen wordt bekeken in voorliggende BBT studie.

De milieu-impact van de beschouwde installaties betreft voornamelijk luchtemissies, vooral van NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> en stof. Eventuele cross-media effecten, bijvoorbeeld een verhoging van het energieverbruik of vorming van afvalwater ten gevolge van het inschakelen van secundaire emissiereducerende technieken, worden meegenomen indien relevant in het kader van BBT-conclusies. Vervolgens wordt nagegaan welke milieumaatregelen – zowel preventief, procesgeïntegreerd als end-of-pipe – beschikbaar zijn om de milieu-impact

te beperken en/of te reduceren. Deze analyse kan indien mogelijk de basis vormen voor het formuleren van de BBT voor nieuwe, kleine en middelgrote stookinstallaties, stationaire motoren en gasturbines.

Het valt niet binnen de scope van deze studie om aanbevelingen te doen omtrent het beleid dat de overheid moet voeren inzake de brandstofkeuze voor stookinstallaties. Hierin spelen immers naast zuiver milieutechnische redenen (aardgas geeft bij verbranding lagere emissies dan stookolie of vaste brandstoffen) ook andere overwegingen (b.v. strategische bevoorrading, beschikbaarheid van aardgas, uitputting fossiele grondstoffen, ...). Hierover kan in het kader van deze studie geen uitspraak gedaan worden. Indien vanuit het beleid gewenst, kan de huidige aanpak, waarbij diverse brandstoffen naast elkaar worden toegelaten, worden geherevalueerd op basis van bijkomend onderzoek.

### 1.2.2 Inhoud van de studie

Vertrekpunt van het onderzoek naar de Beste Beschikbare Technieken voor nieuwe, kleine en middelgrote stookinstallaties, stationaire motoren en gasturbines is een socio-economische doorlichting (hoofdstuk 2). Gezien de brede toepasbaarheid van deze installaties, richt de studie zich echter niet op een specifieke sector. Een evaluatie van de economische kenmerken (vb. tewerkstelling, concurrentiepositie, ...) en de draagkracht van de sector zijn dan ook niet mogelijk.

Daarnaast geeft hoofdstuk 2 een overzicht van de voornaamste wettelijke bepalingen, zowel voor Vlaanderen als daarbuiten, die van toepassing (kunnen) zijn op nieuwe, kleine en middelgrote stookinstallaties, stationaire motoren en gasturbines.

In hoofdstuk 3 wordt de procesvoering in detail beschreven en wordt per processtap nagegaan welke milieu-effecten optreden.

Op basis van een uitgebreide literatuurstudie, aangevuld met gegevens van leveranciers en bedrijfsbezoeken, wordt in hoofdstuk 4 een inventaris opgesteld van milieuvriendelijke technieken voor de installaties. Vervolgens, in hoofdstuk 5, 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 een aantal suggesties om de bestaande milieuregelgeving te evalueren, te concretiseren en aan te vullen (hoofdstuk 6). Tevens wordt in hoofdstuk 6 onderzocht welke van deze technieken in aanmerking komen voor investeringssteun in het kader van de ecologiepremie, en worden aanbevelingen voor verder onderzoek en technologische ontwikkeling geformuleerd.

## HOOFDSTUK 2

# SOCIO-ECONOMISCHE EN MILIEU-JURIDISCHE SITUERING VAN DE SECTOR

In dit hoofdstuk worden nieuwe, kleine en middelgrote stookinstallaties, stationaire motoren en gasturbines gesitueerd en doorgelicht.

Vooreerst trachten we het onderwerp van studie zo precies mogelijk af te bakenen. Daarna gaan we dieper in op de belangrijkste milieu-juridische aspecten.



## 2.1 Afbakening van de studie en definities

Om een duidelijke afbakening te maken van de in voorliggende studie beschouwde installaties, worden de definities gehanteerd zoals terug te vinden in VLAREM II, Art.1.1.2.

Een **stookinstallatie** is elk technisch toestel waarin brandstoffen worden geoxideerd ten einde de aldus opgewekte warmte te gebruiken, met uitzondering van gas- en dieselmotoren. Op basis van het nominaal thermisch vermogen<sup>2</sup> van de installatie, wordt er een onderscheid gemaakt tussen grote, middelgrote en kleine stookinstallaties.

Tot de stookinstallaties in deze studie behoren de verbrandingsprocessen waar geen menging met het te behandelen product plaatsvindt en waarop de bepalingen van hoofdstuk 5.43 van toepassing zijn, bijvoorbeeld:

- Centrale verwarmingsketels;
- Stoomketels;
- Thermische olieketels;
- Procesfornuizen (stookinstallaties voor vb. het opwarmen van procesvoeding);
- ...

De installaties in deze studie hebben een thermisch vermogen tussen 300 kW<sub>th</sub> en 50 MW<sub>th</sub> (kleine en middelgrote stookinstallaties).

**Stationaire motoren** zijn machines met inwendige verbranding. Een **gasmotor** is een verbrandingsmotor die chemische energie omzet in thermische energie en vervolgens in arbeid door gas te verbranden in een cilinder en hierdoor een zuiger in beweging te brengen. Bij een **dieselmotor** gebeurt deze omzetting door het ontbranden van fijn verdeelde diesel in de cilinder.

Een **gasturbine** is een roterende machine die chemische energie omzet in thermische energie en vervolgens in arbeid, en die in hoofdzaak bestaat uit een compressor, een thermisch toestel waarin brandstof geoxideerd wordt om het werkmedium te verhitten en een turbine.

Een **brandstof** is elke vaste, vloeibare of gasvormige brandbare stof waarmee de stookinstallatie of motor wordt gevoed, met uitzondering van de afvalstoffen die vallen onder het decreet van 2 juli 1981 betreffende de voorkoming en het beheer van afvalstoffen en met uitzondering van de meststoffen die vallen onder het decreet van 23 januari 1993 tot bescherming van het leefmilieu tegen de verontreiniging door meststoffen. Een verbrandingsinstallatie wordt traditioneel gezien gestookt met fossiele brandstoffen, zoals kolen (vast), stookolie (vloeibaar) of aardgas. De laatste jaren zijn ook installaties voor de verbranding van hernieuwbare brandstoffen (zoals biomassa, biogas,...) in opmars. Hierbij betreft het ook voornamelijk verbranding in kleine en middelgrote installaties of motoren. In deze studie wordt de focus echter enkel gelegd op de fossiele brandstoffen. De beste beschikbare technieken voor verbranding van hernieuwbare brandstoffen werden beschouwd in de BBT-studie van 2008 (Goovaerts, et al., 2008).

Het betreft in deze studie enkel nieuwe installaties. Onder het begrip 'nieuwe' verstaan we hier nog aan te kopen en te vergunnen installaties. Het gaat specifiek over kleine (thermisch vermogen tussen 300 kW en 5 MW) en middelgrote (thermisch vermogen tussen 5 en 50 MW) stookinstallaties, zoals gedefinieerd in VLAREM. Voor stationaire motoren en gasturbines ligt de ondergrens bij 10 kW.

<sup>2</sup> Het nominaal thermisch vermogen is de warmte-inhoud van de nominale hoeveelheid brandstof die per tijdseenheid kan worden toegevoerd aan een stookinstallatie. Het wordt uitgedrukt in MW en dient vermeld te worden in de milieuvergunning voor de betrokken installatie.

## 2.2 Socio-economische situering

Kleine en middelgrote stookinstallaties, verbrandingsmotoren en gasturbines worden in tal van sectoren toegepast. De voornaamste categorieën van bedrijven zijn:

- Glastuinbouw;
- Kleine en middelgrote bedrijven (industrie);
- Gebouwencomplexen: kantoren, warenhuizen, ...;
- Gezondheidszorg: ziekenhuizen, ...;
- ...

Het is duidelijk dat het in deze studie niet zal gaan om een sector op zich, maar om installaties die zeer verspreid worden ingezet. De studie is dus horizontaal of sectoroverschrijdend, in tegenstelling tot de klassieke, verticale sectorstudies.

Het energieverbruik van stookinstallaties, stationaire motoren en gasturbines in Vlaanderen kan worden afgeleid uit de energiebalans Vlaanderen (2008)<sup>3</sup>. Hierin wordt het energieverbruik voor verbrandingsprocessen opgesplitst volgens brandstoftype. Onderstaande tabel geeft een overzicht van het energieverbruik, opgedeeld naar de verschillende sectoren van belang. De cijfers in de tabel omvatten ook installaties die buiten de scope van deze studie vallen, met vermogens groter dan 50 MW<sub>th</sub> of kleiner dan 300 kW<sub>th</sub>. Ook hebben de cijfers hoofdzakelijk betrekking op bestaande installaties, en niet zozeer op nieuwe installaties. Cijfers die enkel betrekking hebben op nieuwe installaties zijn moeilijk terug te vinden.

Tabel 1: *Energieverbruik door alle stookinstallaties en stationaire motoren in Vlaanderen (Aernouts, et al., 2009)*

Energieverbruik in PJ					
<b>Brandstof</b>	<b>Elektriciteits-productie (conventionele centrales, STEG's en WKK)</b>	<b>Raffinaderijen (eigenverbruik)</b>	<b>Industrie</b>	<b>Land- en tuinbouw</b>	<b>Tertiaire sector</b>
Kolen	48,6		28,9	1,5	
Zware stookolie	11,2	9,4	11,2	3,3	0,9
Gas- en dieselolie	10,6		10,6	12,4	8,8
Andere vloeibare brandstoffen			2,5	0,2	0,5
Aardgas	77,6	7,7	100,9	6,7	47,1
Raffinaderij-gas		41,2			
Andere gasvor- mige brandstoffen	12,1		-6,2		
Biomassa	19,5		6,3	1,2	0,4
Andere brandstof- fen*	11,3	1,8	77,4		1,5
Totaal	190,9	60,1	231,6	25,3	59,2

\* Andere brandstoffen omvatten voornamelijk restbrandstoffen uit de chemische industrie en het niet-hernieuwbare deel in afvalverbranding met energierecuperatie

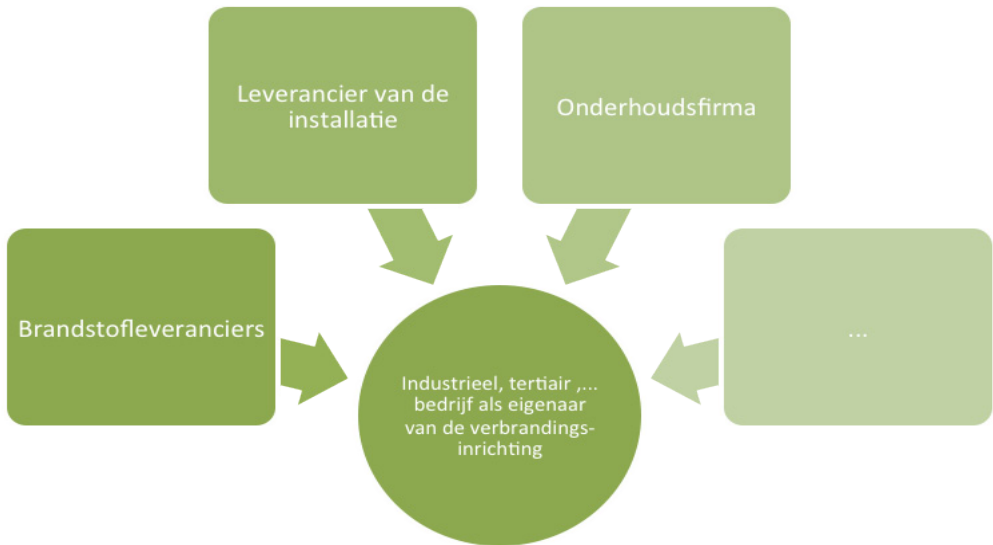
<sup>3</sup> Voor meer informatie i.v.m. de energiebalans Vlaanderen, zie de Emis-website: [www.emis.vito.be/energiebalans-vlaanderen](http://www.emis.vito.be/energiebalans-vlaanderen)



Gezien de brede toepasbaarheid van de betrokken installaties, richt de studie zich niet op een specifieke sector. Een evaluatie van de economische kenmerken (vb. tewerkstelling, concurrentiepositie,...) en de draagkracht van de sector zijn dan ook niet mogelijk.

## 2.3 Bedrijfskolom

Stookinstallaties, stationaire verbrandingsmotoren en gasturbines, worden in tal van bedrijven toegepast, bijvoorbeeld in industriële bedrijven, de tertiaire sector en de glastuinbouw. Een belangrijke input voor deze bedrijven komt natuurlijk van de leveranciers van de installaties. Soms zijn het de producenten zelf die de installatie voor hun rekening nemen, maar soms ook externe installateurs. Onderhoud van de installaties wordt in sommige gevallen door de producenten zelf gedaan, maar meestal gebeurt dit door een aparte onderhoudsfirma waar de producent bijvoorbeeld een contract mee heeft. Brandstof blijft natuurlijk de voornaamste input voor een verbrandingsinstallatie. De brandstofleveranciers zijn dan ook zowat de voornaamste economische actoren.



Figuur 1: Voornaamste economische actoren i.v.m. verbrandingsinstallaties

Een verbrandingsinstallatie dient voor de productie van warmte, elektriciteit of de combinatie van de twee (in WKK-toepassingen). De geproduceerde energie wordt in het geval van kleine en middelgrote stookinstallaties doorgaans gebruikt binnen het bedrijf waar de installatie opgesteld staat. Warmteproductie gebeurt met het oog op gebouwenverwarming of het gebruik ervan als proceswarmte, terwijl gecombineerde elektriciteitsproductie meestal ook een interne toepassing kent.

## 2.4 Milieu-juridische aspecten

In onderstaande paragrafen wordt het milieujuridisch kader van deze BBT-studie geschetst. De aandacht gaat hierbij voornamelijk uit naar de wetgeving in Vlaanderen. Daarnaast komt ook de Europese regelgeving aan bod alsook de wetgeving in het buitenland.

## 2.4.1 Milieuvergunningsvoorwaarden

### → VLAREM I

VLAREM I legt vast voor welke inrichtingen een vergunning of melding vereist is, wie ze moet aanvragen en tot welke overheid men zich moet richten.

Er wordt onderscheid gemaakt tussen drie klassen van hinderlijke inrichtingen. Klasse 1 en klasse 2 inrichtingen dienen over een milieuvergunning te beschikken. Klasse 3 inrichtingen zijn enkel meldingsplichtig. De milieuvergunning van een klasse 1 inrichting moet worden aangevraagd bij de deputatie van de provincieraad van de provincie waar de exploitatie zal plaatsvinden. Een klasse 2 of klasse 3 inrichting moet zich wenden tot het college van burgemeester en schepenen van de gemeente waar de exploitatie zal plaatsvinden.

Tot welke klasse een inrichting hoort, hangt af van de voorkomende rubrieken, vermeld in bijlage 1 van VLAREM I 'Lijst van als hinderlijk beschouwde inrichtingen'. Indien meerdere inrichtingen voorkomen in een bedrijf, is de inrichting met de hoogste klasse bepalend voor de te volgen vergunningsprocedure.

In bijlage 1 'Lijst van alle hinderlijke inrichtingen' van VLAREM I vinden we stookinstallaties en stationaire motoren als aparte rubrieken terug. Stationaire motoren vallen onder rubriek 31 en verbrandingsinstallaties (incl. gasturbines) onder rubriek 43. De installaties die binnen de scope van deze studie vallen vinden we terug onder volgende subrubrieken: rubriek 31.1, rubriek 43.1, rubriek 43.2 en rubriek 43.4.

Tabel 2: Uittreksel van de betreffende rubrieken uit de indelingslijst van VLAREM I

Rubriek	Omschrijving	Klasse	Bemerkingen	Coördinator	Audit	Jaarverslag
31.	Motoren (machines) met inwendige verbranding					
31.1	Vast opgestelde motoren met een totaal nominaal vermogen van: Opmerkingen: De motoren, vallend onder 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 en goedgekeurd plan van aanleg, een ruimtelijk uitvoeringsplan of een behoorlijk vergunde, niet vervallen verkavelingsvergunning.					
	1. a) 10 kW t.e.m. 300 kW, wanneer de inrichting volledig is gelegen in een industriegebied	3				
	b) 10 kW t.e.m. 100 kW, wanneer de inrichting volledig of gedeeltelijk is gelegen in een gebied ander dan industriegebied	3				
	2. a) Meer dan 300 kW t.e.m. 500 kW, wanneer de inrichting volledig is gelegen in een industriegebied	2	T	N		
	b) Meer dan 100 kW t.e.m. 500 kW, wanneer de inrichting volledig of gedeeltelijk is gelegen in een gebied ander dan industriegebied	2	T	N		
	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,T,X	B	P	J

Rubriek	Omschrijving	Klasse	Bemerkingen	Coördinator	Audit	Jaarverslag
43.	Verbrandingsinrichtingen					
43.1	<p>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.</p> <p>Verbrandingsinrichtingen zonder elektriciteitsproductie (stookinstallaties e.d.), met een totaal vermogen van:</p> <p>Opmerkingen: De stookinstallaties, vallend onder de toepassing van rubriek 15.5 en rubriek 19.8, zijn niet ingedeeld in onderhavige rubriek.</p>					
	1. a)	3	300 kW t.e.m. 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			
	b)	3	300 kW t.e.m. 500 kW in de gevallen andere dan vermeld sub a)			
	2. a)	2	Meer dan 2.000 kW t.e.m. 5.000 kW, wanneer het een inrichting betreft vermeld sub 1.a)			
	b)	2	Meer dan 500 kW t.e.m. 5.000 kW in de gevallen andere dan vermeld sub 1.a)			
	3. Meer dan 5.000 kW	1		M	B	J
43.2	Verbrandingsinrichtingen met elektriciteitsproductie (thermische centrales), met inbegrip van het ombouwen ervan op een andere brandstof, met een totaal vermogen van:					
	1. 300 kW t.e.m. 5.000 kW	2				
	2. Meer dan 5.000 kW	1		M	B	J
43.3	Stookinstallaties met een hoeveelheid vrijkomende warmte van > 50 MW	1		M,X	B	J,R
	Er kan overlapping zijn met de rubrieken 43.1 en 43.2.					

Rubriek	Omschrijving	Klasse	Bemerkingen	Coördinator	Audit	Jaarverslag
43.4	<p>Verbrandingsinstallaties (incl. motoren) met een totaal thermisch ingangsvermogen &gt; 20 MW, met uitzondering van installaties voor het verbranden van gevaarlijke stoffen of stadsafval.</p> <p>Er kan overlapping zijn met rubriek 31.1, 43.1, 43.2 en 43.3.</p> <p>Het vermogen van de volgende verbrandingsinstallaties moet niet meegerekend worden om het totale thermische ingangsvermogen te toetsen aan het bovenvermelde criterium van 20MW:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) naverbranders;</li> <li>b) fakkels;</li> <li>c) nooddiesels en noodstroomgeneratoren;</li> <li>d) verbrandingsinstallaties (incl. motoren) met een individueel thermisch ingangsvermogen van gelijk aan of minder dan 3 MW.</li> </ul> <p>Zodra het totale thermische ingangsvermogen, rekening houdend met het voorgaande, meer bedraagt dan 20 MW, vallen ook de installaties vermeld in a) tot en met d), onder de toepassing van deze subrubriek</p>	1	M, Yk			J

M: Inrichtingen waarvoor de Vlaamse Milieumaatschappij advies verstrekt

T: Inrichtingen waarvoor een tijdelijke vergunning kan worden verleend

X: Inrichtingen 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.

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 verontreinigingen (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: Yk heeft betrekking op de emissies van koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>)

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. 1166/2005 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.

## → VLAREM II

In VLAREM II zijn de milieuvoorwaarden opgenomen waaraan inrichtingen moeten voldoen. Er kan een onderscheid gemaakt worden tussen

- *algemene milieuvoorwaarden* (deel 4 van VLAREM II): deze zijn van toepassing op alle hinderlijke inrichtingen. Ze omvatten maatregelen noodzakelijk voor de bescherming van de verschillende milieucapaciteiten en een aantal algemene voorschriften (bv. toepassen BBT, hygiëne, risico- en hinderbeheersing, meet- en registratieverplichtingen, ...).
- *sectorale milieuvoorwaarden* (deel 5 van VLAREM II): dit zijn specifieke voorschriften van toepassing op welbepaalde inrichtingen. Sectorale milieuvoorwaarden kunnen de algemene milieuvoorwaarden aanvullen. Ze hebben voorrang op de algemene voorwaarden.

Overeenkomstig Art. 3.3.0.1 van VLAREM II, kan de vergunningverlenende overheid in de milieuvergunning *bijzondere milieuvergunningsvoorwaarden* opleggen. Deze vullen de algemene en/of sectorale milieuvoorwaarden aan of stellen bijkomende eisen. Ze worden opgelegd met het oog op de bescherming van de mens en het leefmilieu, en met het oog op het bereiken van de milieukwaliteitsnormen.

### → Algemene milieuvoorwaarden

De algemene milieuvoorwaarden die van toepassing (kunnen) zijn op stookinstallaties en stationaire motoren 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)
- emissies van broeikasgassen (Hfdst. 4.10)

De belangrijkste milieuvoorwaarden voor deze studie worden hieronder verder toegelicht.

#### **a. Beheersing van luchtverontreiniging**

Voor deze BBT-studie is voornamelijk de beheersing van luchtverontreiniging van belang. Verbrandingsinstallaties en stationaire motoren worden immers beschouwd als belangrijke bronnen hiervan.

Van specifiek belang voor deze studie is artikel 4.4.2.1 betreffende de toepassing van de Beste Beschikbare Technieken (BBT).

*“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 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 op de plaats waar ze ontstaan opgevangen of opgezogen te worden en, na eventueel noodzakelijke zuivering, in de omgevingslucht geloosd te worden indien aan de emissie- en immisievorschriften wordt voldaan (art. 4.4.2.2). Indien de afvalgassen via een schoorsteen of ander afvoerkanal worden geloosd, moet deze aan bepaalde voorschriften voldoen, zoals bijvoorbeeld een minimumhoogte.

Artikel 4.4.3.1 verwijst naar de algemene emissiegrenswaarden 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 (bijlage 4.4.2 van VLAREM II). De luchthoeveelheden die naar een onderdeel van de installatie worden gevoerd om het afvalgas te verdunnen of af te koelen blijven bij de bepaling van de emissiewaarden buiten beschouwing.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de algemene emissiegrenswaarden die van toepassing kunnen zijn op de geloosde afvalgassen van stookinstallaties en stationaire motoren, indien hiervoor geen sectorale of bijzondere normen zijn opgesteld. Enkel de parameters waarvoor geen sectorale normen zijn opgelegd zijn in de tabel opgenomen.

Tabel 3: Overzicht van de algemene emissiegrenswaarden (bijlage 4.4.2 van VLAREM II)

Parameter	Emissiegrenswaarden
6° de volgende stoffen, bij een massastroom van 0,5 g/u of meer: <ul style="list-style-type: none"> <li>· benzo(a)pyreen</li> <li>· dibenz(a,h)antracene</li> </ul>	0,1 mg/Nm <sup>3</sup> 0,1 mg/Nm <sup>3</sup>
12° de volgende stofvormige anorganische stoffen bij een massastroom van 1g/u of meer: <ul style="list-style-type: none"> <li>· cadmium en zijn verbindingen (uitgedrukt in Cd)</li> <li>· kwikzilver en zijn verbindingen (uitgedrukt in Hg)</li> </ul>	0,2 mg/m <sup>3</sup> 0,2 mg/m <sup>3</sup>
13° de volgende stofvormige anorganische stoffen bij een massastroom van 5 g/u of meer: <ul style="list-style-type: none"> <li>· arseen en zijn verbindingen (uitgedrukt in As)</li> <li>· nikkel en zijn verbindingen (uitgedrukt in Ni)</li> </ul>	1,0 mg/m <sup>3</sup> 1,0 mg/m <sup>3</sup> (a)
14° de volgende stofvormige anorganische stoffen bij een massastroom van 25 g/u of meer: <ul style="list-style-type: none"> <li>· lood en zijn verbindingen (uitgedrukt in Pb)</li> <li>· chroom en zijn verbindingen (uitgedrukt in Cr)</li> <li>· licht oplosbare fluoride en zijn verbindingen (uitgedrukt in F)</li> <li>· koper en zijn verbindingen (uitgedrukt in Cu)</li> <li>· mangaan en zijn verbindingen (uitgedrukt in Mn)</li> <li>· vanadium en zijn verbindingen (uitgedrukt in V)</li> </ul>	5,0 mg/m <sup>3</sup> 5,0 mg/m <sup>3</sup> 5,0 mg/m <sup>3</sup> (b) 5,0 mg/m <sup>3</sup> 5,0 mg/m <sup>3</sup> 5,0 mg/Nm <sup>3</sup> (c)
a. Er zijn wel sectorale normen voor nikkel voor nieuwe stookinstallaties op vloeibare brandstoffen.	
b. Er zijn wel sectorale normen voor fluoriden en chloriden voor nieuwe stookinstallaties op vaste brandstoffen.	
c. Er zijn wel sectorale normen voor vanadium voor nieuwe stookinstallaties op vloeibare brandstoffen.	

## b. Overige algemene milieuvorwaarden

Naast de algemene milieuvorwaarden voor de beheersing van luchtverontreiniging, zijn er ook nog andere algemene voorwaarden die relevant kunnen zijn voor stookinstallaties, stationaire motoren en gasturbines. Zo zijn er nog algemene milieuvorwaarden m.b.t. de beheersing van oppervlaktewaterverontreiniging (hoofdstuk 4.2. van VLAREM II) en van geluidshinder (artikel 4.5.1.1 van VLAREM II).

### → Sectorale milieuvorwaarden

De sectorale milieuvorwaarden belangrijk voor de BBT-studie voor kleine en middelgrote stookinstallaties en stationaire motoren zijn terug te vinden onder deel 5 van de VLAREM II.

Voor *motoren met inwendige verbranding* gelden de bepalingen uit hoofdstuk 5.31. Deze bepalingen zijn van toepassing op vast opgestelde motoren, al dan niet met elektriciteitsproductie, ingedeeld in subrubriek 31.1 van de indelingslijst (bijlage 1 van VLAREM I), namelijk gas- en dieselmotoren. Daarnaast wordt er nog een onderscheid gemaakt wat betreft het aantal bedrijfsuren, namelijk machines met meer dan 360 bedrijfsuren per jaar en machines met minder dan 360 bedrijfsuren per jaar. Voor gasmotoren worden aparte emissiegrenswaarden gegeven wanneer gevoed met biogas, maar dit valt buiten de scope van deze studie.

Voor *stookinstallaties, gasturbines en stoom- en gasturbine installaties* worden de bepalingen gegeven onder hoofdstuk 5.43. De voorwaarden van dit hoofdstuk zijn van toepassing op verbrandingsinrichtingen, al dan niet met elektriciteitsproductie en al dan niet in warmtekrachtoepassingen, ingedeeld in rubriek 43 van de indelingslijst, met uitzondering van volgende installaties:

- Installaties waarin de verbrandingsproducten worden gebruikt voor directe verwarming, droging of enige andere behandeling van voorwerpen of materialen (vb. herverhittingsovens, 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 bepalingen in dit hoofdstuk hebben betrekking op emissiegrenswaarden en immissiecontroleprocedures.

Voor *stookinstallaties* wordt een onderscheid gemaakt tussen grote stookinstallaties ( $\geq 50 \text{ MW}_{\text{th}}$ ), middelgrote stookinstallaties ( $> 5 \text{ MW}_{\text{th}}$  tot  $< 50 \text{ MW}_{\text{th}}$ ) en kleine stookinstallaties ( $300 \text{ kW}_{\text{th}}$  t.e.m.  $5 \text{ MW}_{\text{th}}$ ). Er wordt ook een onderscheid gemaakt voor wat betreft de gebruikte brandstof (vast, vloeibaar, gas en biomassa (niet binnen de scope van deze studie)) en vervolgens ook naar de datum waarop de eerste vergunning werd verleend.

Voor *gasturbines en stoom- en gasturbine installaties* (STEG) wordt een onderscheid gemaakt op basis van het nominaal thermisch vermogen van de installatie, het type brandstof (vloeibaar of gasvormig), het aantal draaiuren en de datum waarop de eerste vergunning werd verleend.

Onderstaande tabellen geven de sectorale emissiegrenswaarden voor de verschillende installaties en brandstoffen. Voor deze studie zijn de categorieën met de meest recente vergunningsdatum het meest interessant omdat we ons richten op nieuwe installaties (zwarte tekst). De andere categorieën worden weergegeven voor de volledigheid (grijze tekst).



Tabel 4: Sectorale emissiegrenswaarden voor vast opgestelde motoren (art.5.31.1.2. en art.5.31.2.2.)

<b>Gasmotoren met &gt; 360 bedrijfsuren per jaar</b>						
<b>Type gasmotor</b>	<b>Nominaal thermisch vermogen in MW</b>	<b>Emissiegrenswaarden (mg/Nm<sup>3</sup>) 5% O<sub>2</sub></b>				
		<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>CO</b>	<b>CO</b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>MMVOS</b>
Eerste vergunning verleend voor 1/01/2000		1300 x η/30 <sup>(2)</sup>	1300			/
Eerste vergunning verleend op/na 1/01/2000 en voor 1/01/2005		500 x η/30	650 <sup>(1)</sup>			/
Eerste vergunning verleend op/na 1/01/2005 en voor 1/01/2010	≤ 1 > 1	500 x η/30 500	650 <sup>(1)</sup> 650 <sup>(1)</sup>			150 150
Eerste vergunning verleend op/na 1/01/2010	≤ 1	500 x η/30	650 <sup>(1)</sup>			150
	1 – 5	500	650 <sup>(1)</sup>			150
	≥ 5	250	650 <sup>(1)</sup>			150
<b>Gasmotoren met &lt; 360 bedrijfsuren per jaar</b>						
<b>Type gasmotor</b>	<b>Emissiegrenswaarden (mg/Nm<sup>3</sup>) 5% O<sub>2</sub></b>					
	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>CO</b>	<b>CO</b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>MMVOS</b>	
Eerste vergunning verleend voor 1 januari 2000		1300 x η/30 <sup>(2)</sup>	1300		/	
Eerste vergunning verleend op of na 1 januari 2000		500 x η/30	650 <sup>(1)</sup>		/	
<b>Dieselmotoren met &gt; 360 bedrijfsuren per jaar</b>						
<b>Type dieselmotor</b>	<b>Nominaal thermisch vermogen in MW</b>	<b>Emissiegrenswaarden (mg/Nm<sup>3</sup>) 5% O<sub>2</sub></b>				
		<b>Stof</b>	<b>SO<sub>2</sub> (bij gasolie)</b>	<b>SO<sub>2</sub> (bij stookolie)</b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>CO</b>
Eerste vergunning verleend voor 1/01/1993	≥ 0,3	300	0,10% <sup>(3)</sup>	1,00% <sup>(3)</sup>	5000	1500 /
Eerste vergunning verleend op/na 1/01/1993 en voor 1/01/2000	≥ 0,3	200	0,10% <sup>(3)</sup>	1,00% <sup>(3)</sup>	4000	1000 /
Eerste vergunning is verleend op/na 1/01/2000 en voor 1/01/2005	0,3 – 3 ≥ 3 – 5 ≥ 5	50 50 50	0,10% <sup>(3)</sup> 0,10% <sup>(3)</sup> 0,10% <sup>(3)</sup>	1,00% <sup>(3)</sup> 1,00% <sup>(3)</sup> 1,00% <sup>(3)</sup>	4000 2000 500	650 / 650 / 650 /

Eerste vergunning is verleend op/na 1/01/2005 en voor 1/01/2010	0,3 – 5	50	0,10% <sup>(3)</sup>	1,00% <sup>(3)</sup>	1000 <sup>(4)</sup>	650	150
	≥ 5	50	0,10% <sup>(3)</sup>	1,00% <sup>(3)</sup>	500	650	150
Eerste vergunning is verleend op/na 1/01/2010	0,3 – 5	50	0,10% <sup>(3)</sup>	1,00% <sup>(3)</sup>	1000	650	150
	≥ 5	50	0,10% <sup>(3)</sup>	1,00% <sup>(3)</sup>	350	650	150
<b>Dieselmotoren met &lt; 360 bedrijfsuren per jaar</b>							
<b>Type dieselmotor</b>	<b>Nominaal thermisch vermogen in MW</b>	<b>Emissiegrenswaarden (mg/Nm<sup>3</sup>) 5% O<sub>2</sub></b>					
		<b>Stof</b>	<b>SO<sub>2</sub> (bij gasolie)</b>	<b>SO<sub>2</sub> (bij stookolie)</b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>CO</b>	<b>Org. stoffen</b>
Eerste vergunning is verleend voor 1 januari 2000	≥ 0,3	300	0,10% <sup>(3)</sup>	1,00% <sup>(3)</sup>	/	1500	/
Eerste vergunning is verleend op of na 1 januari 2000	0,3 – 5	50	0,10% <sup>(3)</sup>	1,00% <sup>(3)</sup>	4000	650	/
	≥ 5	50	0,10% <sup>(3)</sup>	1,00% <sup>(3)</sup>	2000	650	/
<b>η = nominaal motorrendement</b>							

<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 η/30 mg/Nm<sup>3</sup> van toepassing.

<sup>(3)</sup> Maximumzwavelgehalte in brandstof (in massa-%).

<sup>(4)</sup> Voor dieselmotoren gevoed met vloeibare biomassa-producten, met uitzondering van biomassa-afval, kan in de milieuvergunning een hogere emissiegrenswaarde voor NO<sub>x</sub> worden vastgesteld, evenwel slechts voor een periode lopende tot uiterlijk 31/12/2009 en tot een waarde van maximum 2000 mg/Nm<sup>3</sup>.

Tabel 5: Sectorale emissiegrenswaarden voor kleine en middelgrote stookinstallaties (art.5.43.2.2.1 en 5.43.2.3.1)

Brandstof	Type inrichting	Emissiegrenswaarden (mg/Nm <sup>3</sup> )							
		Stof	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	Chloriden	fluoriden	nikkel	vanadium
Vast 6% O <sub>2</sub>	Nieuwe inrichtingen waarvoor eerste vergunning tot exploitatie is verleend voor 1 januari 2005	0,3 - <2 MW <sub>th</sub>	100 <sup>(1)</sup>	1250	500	250	100	30	
		2 t.e.m. 5 MW <sub>th</sub>	100	1250	400	250	100	30	
		5 - 20 MW <sub>th</sub>	50	1250	400	250	100	30	
	Nieuwe inrichtingen waarvoor eerste vergunning tot exploitatie is verleend op/na 1/01/2005	20 t.e.m. 50 MW <sub>th</sub>	50	1250	400	250	100	30	
		0,3 t.e.m. 5 MW <sub>th</sub>	100	1250	300	200	100	30	
		5 - ≤ 50 MW <sub>th</sub>	50	1250	300	200	100	30	
Vloeibaar 3% O <sub>2</sub>	Nieuwe inrichtingen waarvoor eerste vergunning tot exploitatie is verleend voor 1 januari 2005	0,3 - <2 MW <sub>th</sub>	100	170	250	175		3	5
		2 t.e.m. 5 MW <sub>th</sub>	100	1700	600	175		3	5
		5 - 20 MW <sub>th</sub>	50	1700	400	175		3	5
	Nieuwe inrichtingen waarvoor eerste vergunning tot exploitatie is verleend op/na 1/01/2005	20 t.e.m. 50 MW <sub>th</sub>	50	1700	300	175		3	5
		0,3 - <2 MW <sub>th</sub>	100	170	185	175		3	5
		2 t.e.m. 5 MW <sub>th</sub>	100	1700	525	175		3	5
	5 - 20 MW <sub>th</sub>	50	1700	400	175		3	5	
		20 t.e.m. 50 MW <sub>th</sub>	50	1700	150	175		3	5

Gas 3% O <sub>2</sub>	Nieuwe inrichtingen waarvoor eerste vergunning tot exploitatie is verleend voor 1 januari 2005	Biogas <sup>(1)</sup>	5	200	200	100	100
	Industriegas uit ijzer- en staalindustrie		50	35	200	100	
	Cokesovengas		5	400	200	100	
	Vloeibaar gemaakt gas		5	5	200	100	
	Aardgas		5	35	150	100	
	Andere gassen		5	35	200	100	
	Nieuwe inrichtingen waarvoor eerste vergunning tot exploitatie is verleend op/na 1/01/2005	Hoogovengas	10	200	200	100	
		Industriegas uit ijzer- en staalindustrie	30	35	200	100	
		Cokesovengas	5	400	200	100	
		Vloeibaar gemaakt gas	5	5	200	100	
		Aardgas	5	35	≤5MW <sub>th</sub> :80 >5MW <sub>th</sub> :150	100	
		Andere gassen	5	35	200	100	

<sup>(1)</sup> Emissiegrenswaarden van toepassing op inrichtingen met een thermisch vermogen van > 5 MW en ≤ 50 MW.

Voor de volledigheid geven we ook nog een overzicht van de emissiegrenswaarden voor grote stookinstallaties (> 50 MW<sub>th</sub>) waarvoor een eerste vergunning is verleend op of na 1 januari 2010.

Tabel 6: Emissiegrenswaarde voor grote stookinstallaties (art.5.43.2.1.1)

Brandstof	Nieuwe installaties waarvoor de eerste vergunning tot exploitatie is verleend op of na 1 januari 2010	Emissiegrenswaarden (mg/Nm <sup>3</sup> )									
		Stof	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	Chloriden	Fluoriden	Nikkel	Vanadium		
Vast	50 t.e.m. 100 MW	20	200	150	200	30	5				
	> 100 MW	15 <sup>(1)</sup>	150 <sup>(2)</sup>	100 <sup>(2)</sup>	200	30	5				
Vloeibaar	50 t.e.m. 100 MW	20	200	150	175			3	5		
	> 100 MW	15 <sup>(1)</sup>	150 <sup>(2)</sup>	100 <sup>(2)</sup>	175			1	5		
Gas	50 t.e.m. 100 MW	10	200	150	100						
	> 100 MW	10	150 <sup>(2)</sup>	100 <sup>(2)</sup>	100						
3% O <sub>2</sub>	Industriegas uit ijzer/staalindustrie	20	35	150	100						
		15	35	100 <sup>(2)</sup>	100						
Cokesovogas	50 t.e.m. 100 MW	5	400	150	100						
	> 100 MW	5	150 <sup>(2)</sup>	100 <sup>(2)</sup>	100						
Vloeibaar gemaakt gas	50 t.e.m. 100 MW	5	5	150	100						
	> 100 MW	5	5	100 <sup>(2)</sup>	100						
Aardgas	50 t.e.m. 100 MW	5	35	100	100						
	> 100 MW	5	35	80 <sup>(2)</sup>	100						
Andere gassen	50 t.e.m. 100 MW	5	35	150	100						
	> 100 MW	5	35	100 <sup>(2)</sup>	100						

<sup>(1)</sup> Voor installaties met een nominaal thermisch vermogen van meer dan 300 MW geldt tevens een emissiegrenswaarde van 6 mg/Nm<sup>3</sup> als kalenderjaargemiddelde dat niet overschreden mag worden.

<sup>(2)</sup> Voor installaties met een nominaal thermisch vermogen van meer dan 300 MW geldt tevens een emissiegrenswaarde van 60 mg/Nm<sup>3</sup> als kalenderjaargemiddelde dat niet overschreden mag worden.

Tabel 7: Sectorale emissiegrenswaarden voor gasturbines en stoom- en gasturbine installaties (art.5.43.3.1.)

Brandstof	Type inrichting	Emissiegrenswaarden (mg/Nm <sup>3</sup> ) 15% O <sub>2</sub>			
		Stof	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub> <sup>(1)</sup>	CO <sup>(1)</sup>
Vloeibaar	> 360 draaiuren	30	0,10% <sup>(2)</sup>	200	100
	< 50 MW <sub>th</sub>	30	0,10% <sup>(2)</sup>	75	100
	< 360 draaiuren	50	0,10% <sup>(2)</sup>	/	250
	< 50 MW <sub>th</sub>	50	0,10% <sup>(2)</sup>	200	100
Gas	> 360 draaiuren	12	12	75 <sup>(3)</sup>	100
	< 50 MW <sub>th</sub>	12	12	50	100
	< 360 draaiuren	12	12	250	250
	< 50 MW <sub>th</sub>	12	12	150	100

<sup>(1)</sup> Deze emissiegrenswaarden voor NO<sub>x</sub> en CO worden vermenigvuldigd met een factor x2 bij uitbating van de gasturbine/STEG beneden 60% van zijn capaciteit.

<sup>(2)</sup> Maximum S-gehalte in brandstof (in massa-%).

<sup>(3)</sup> Deze emissiegrenswaarde voor NO<sub>x</sub> wordt herleid tot 150 mg/Nm<sup>3</sup> als de installatie gevoed wordt door gasvormige brandstoffen andere dan aardgas; deze emissiegrenswaarde voor NO<sub>x</sub> wordt herleid tot 100 mg/Nm<sup>3</sup> bij gasturbines of STEG's in warmtekrachtoepassingen.

### → Meetverplichtingen

Net zoals de emissiegrenswaarden, verschillen ook de meetverplichtingen sterk afhankelijk van het artikel dat van toepassing is. In onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van de verschillende meetverplichtingen die gelden voor stookinstallaties, stationaire motoren en gasturbines voor de verbranding van fossiele en hernieuwbare brandstoffen.

Tabel 8: Overzicht van de geldende meetverplichtingen in VLAREM II voor verbrandingsinstallaties, motoren en gasturbines

Vermogen	Motoren (5.31)		Stookinstallaties (5.43)		Gasturbine (5.43)	
	t.e.m. 1 MW	1 tot 5 MW	t.e.m. 1 MW	1-5 MW tot 100 MW	t.e.m. 1 MW	> 1 t.e.m. 5 MW
Brandstof	Fossiele brandstof		Fossiele brandstof		Fossiele brandstof	
Totaal stof	5-jaarlijks <sup>(1)</sup>	2-jaarlijks <sup>(1)</sup>	5-jaarlijks	Min. 2-jaarlijks	5-jaarlijks	2-jaarlijks
CO	5-jaarlijks	2-jaarlijks	3-maandelijks <sup>(1)</sup>	3-maandelijks	3-maandelijks <sup>(9)</sup>	2-jaarlijks
NO <sub>x</sub>	5-jaarlijks	2-jaarlijks	3-maandelijks	3-maandelijks	3-maandelijks	2-jaarlijks
SO <sub>2</sub>	5-jaarlijks <sup>(2)</sup>	2-jaarlijks <sup>(2)</sup>	3-maandelijks <sup>(2)</sup>	3-maandelijks	3-maandelijks <sup>(9)</sup>	2-jaarlijks <sup>(4)</sup>
TOC	5-jaarlijks	2-jaarlijks	3-maandelijks			
					Continu <sup>(3)</sup>	3-maandelijks
					Continu	3-maandelijks
					Continu	3-maandelijks
					Continu <sup>(4)</sup>	3-maandelijks <sup>(4)</sup>
					Continu <sup>(5)</sup>	Continu <sup>(5)</sup>

<sup>(1)</sup> Voor bestaande motoren kunnen de bedoelde metingen voor stof vervangen worden door berekeningen op basis van een code van goede praktijk.

<sup>(2)</sup> De bedoelde metingen zijn niet vereist voor SO<sub>2</sub> als het zwavelgehalte van de brandstof op continue basis gekend is.

<sup>(3)</sup> De 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.

<sup>(4)</sup> De metingen zijn niet vereist:

1° voor SO<sub>2</sub> van gasturbines en stoom- en gasturbine-installaties die gestookt worden met aardgas of met andere zeer zwavelarme brandstoffen;

2° voor SO<sub>2</sub> van gasturbines en stoom- en gasturbine-installaties die gestookt worden met brandstof waarvan het zwavelgehalte bekend is, ingeval er geen ontzwavelingsuitrusting is.

<sup>(5)</sup> Die metingen zijn niet vereist:

1° voor SO<sub>2</sub> van gasturbines en stoom- en gasturbine-installaties die gestookt worden met aardgas en/of met ontzwaveld raffinaderijgas waarvan het zwavelgehalte minder dan 150 ppm bedraagt;

2° voor SO<sub>2</sub> van gasturbines en stoom- en gasturbine-installaties die gestookt worden met vloeibare brandstof waarvan het zwavelgehalte gekend is, ingeval er geen ontzwavelingsuitrusting is.



### → Actieplan Fijn Stof

Op 27 september 1996 werd de kaderrichtlijn inzake de beoordeling en het beheer van de luchtkwaliteit goedgekeurd (RL 96/62/EG). Deze kaderrichtlijn vormt samen met vier dochterrichtlijnen de basis voor het kwaliteitsbeleid Lucht binnen de Europese Unie.

De lidstaten dienen voor de zones en agglomeraties waar de luchtkwaliteitsnorm (voor 13 polluenten) vermeerderd met de overschrijdingsmarge wordt overschreden ervoor te zorgen dat er een plan of programma wordt opgesteld dat ertoe leidt dat binnen de daarvoor gestelde termijn aan de grenswaarde wordt voldaan.

Het Vlaamse stofplan van 'Saneringsplan fijn stof voor de zones met overschrijding in 2003 en aanpak fijn stofproblematiek in Vlaanderen', goedgekeurd eind 2005, is het interne plan dat is 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 op globaal Vlaams niveau enerzijds (industrie, wegverkeer, scheepvaart, huishoudens, tertiaire sectoren, land- en tuinbouw) en naar specifieke plaatsen met verhoogde concentratie, zogenaamde 'hotspots', anderzijds.

### 2.4.2 Overige Vlaamse regelgeving

Voor het milieucompartiment bodem wordt het milieu-juridisch kader in Vlaanderen gevormd door het bodemsaneringsdecreet en het uitvoeringsbesluit VLAREBO. Voor het milieucompartiment afval zijn er het Afvalstoffendecreet en het uitvoeringsbesluit VLAREA.

VLAREBO verplicht de exploitanten van verbrandingsinstallaties zonder elektriciteitsproductie (> 5 MW) om een oriënterend bodemonderzoek uit te voeren bij overdracht, sluiting van de inrichting of stopzetting van de activiteit. Voor inrichtingen met elektriciteitsproductie (thermische centrales) moet een periodiek bodemonderzoek worden uitgevoerd om de 20 jaar (bij > 5 MW). VLAREA is vooral van belang voor wat betreft de mogelijke aanwending van afvalstoffen, zoals vliegias en bodemas van verbrandingsprocessen voor gebruik in of als bouwstof.

### 2.4.3 Europese richtlijnen en internationaal beleid

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

De richtlijn grote stookinstallaties, ook Large Combustion Plants (LCP) directive genoemd, beoogt het aanpakken van verzuring door het beperken van de uitstoot van SO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> door installaties met een nominaal thermisch vermogen van 50 MW of meer, ongeacht het toegepaste brandstoftype (vast, vloeibaar of gasvormig). De richtlijn grote stookinstallaties is niet onmiddellijk van toepassing op de voorliggende studie, omdat de focus ligt op de grote installaties met een thermisch vermogen ≥ 50 MW.<sup>4</sup> Sinds eind 2010 zit deze richtlijn vervat onder de nieuwe Industrial Emissions Directive (IED).

#### → IPPC Richtlijn, IE Directive en BREF grote stookinstallaties

De Europese Richtlijn 96/61/EG inzake geïntegreerde preventie en bestrijding van verontreiniging (GPBV) (de IPPC-richtlijn, of Integrated Pollution Prevention and Control) heeft als doel een hoog beschermingsniveau voor mens en milieu te creëren door het voorkomen en bestrijden van verontreiniging bij de potentieel meest verontreinigende installaties. Om dit doel te kunnen bereiken werden de Europese lidstaten verplicht tegen 2007 in alle grote bedrijven de vergunningsnormen opnieuw te bekijken. De Beste Beschikbare Technieken (BBT) zijn hierbij het referentiepunt.

<sup>4</sup> Voor verder info over de emissiegrenswaarden onder de LCP-richtlijn, zie: <http://ec.europa.eu/environment/air/pollutants/stationary/lcp.htm>

Eind 2010 werd de nieuwe 'Richtlijn inzake Industriële Emissies' (IED – 2010/75/EC) goedgekeurd. Deze richtlijn omvat een herziening van de IPPC Richtlijn en een integratie met zes andere richtlijnen (de Richtlijn Grote Stookinstallaties (LCP), de Afvalverbrandingsrichtlijn, de Oplosmiddelenrichtlijn en drie Richtlijnen voor titaniumdioxide). Met de IED wordt de reikwijdte uitgebreid ten opzichte van de oorspronkelijke IPPC Richtlijn en wordt een betere afstemming met o.a. de Kaderrichtlijn Afval en de Kaderrichtlijn Water betracht.

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<sup>5</sup>.

In mei 2005 werd een BREF voor grote verbrandingsinstallaties met een nominaal thermisch vermogen van meer dan 50 MW gepubliceerd. Ook stationaire motoren en gasturbines worden meegenomen. In de BREF worden de technieken beschreven die als BBT kunnen worden beschouwd voor dergelijke installaties. Er wordt zowel gekeken naar installaties gestookt met fossiele brandstoffen alsook naar installaties gestookt met biomassa.

De aan de BBT gekoppelde emissieniveaus in deze BREF zijn gebaseerd op het dagelijks gemiddelde, normale omstandigheden en een O<sub>2</sub>-gehalte van 6% voor vaste brandstoffen, 3% voor vloeibare en gasvormige brandstoffen en 15% voor gasturbines, en dit bij 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.

De BREF LCP is niet rechtstreeks van toepassing op de voorliggende studie, omdat de focus ligt op de grote installaties met een thermisch vermogen  $\geq$  50 MW. Anderzijds is het wel zo dat technieken die toepasbaar zijn in grote installaties vaak ook kunnen worden toegepast in kleinere installaties, al dient hier rekening gehouden te worden met specifieke technische en economische randvoorwaarden.

Voor een overzicht van de BBT en gerelateerde emissieniveaus, wordt verwezen naar de BREF LCP zelf.

### → Het Gotenburg-protocol en het NEC (National Emission Ceilings)-reductieprogramma

Op 30 november 1999 werd het protocol ter bestrijding van verzuring, eutrofiëring en ozonvorming op leefniveau goedgekeurd in Gotenburg. Het protocol werd ondertekend door alle Europese landen alsmede de Verenigde Staten en Canada (alle leden van het UN/ECE). In het Gotenburg protocol worden nationale emissieplafonds bepaald voor vier polluenten, namelijk SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, VOS en NH<sub>3</sub>, waaraan tegen 2010 voldaan moet worden. Daarnaast legt het protocol ook tal van technische eisen op, zoals emissie-eisen voor installaties en de verplichting tot het gebruik van de zogenaamde 'beste beschikbare technieken'.

Binnen de Europese Unie werd parallel aan het Gotenburg protocol in 2001 de NEC-richtlijn vastgelegd om verzuring, eutrofiëring en de ozonproblematiek in te dijken. NEC staat voor 'national emission ceilings' oftewel nationale emissieplafonds. Deze plafonds gelden voor dezelfde polluenten als die uit het Gotenburg protocol.

In de richtlijn worden emissieplafonds (en reductiepercentages t.o.v. 1990) opgelegd waaraan de lidstaten tegen 2010 moesten voldoen. In België werden deze doelstellingen uiteindelijk vertaald naar doelstellingen op regionaal niveau. Tabel 9 geeft de emissieplafonds uit de NEC richtlijn en de hieruit afgeleide doelstellingen voor Vlaanderen.

<sup>5</sup> Voor meer informatie over IPPC en BREFs, zie de website van het IPPC-bureau <http://eippcb.jrc.es/>, of de website van EMIS [www.emis.vito.be](http://www.emis.vito.be).

Tabel 9: Overzicht doelstelling voor België (NEC Richtlijn) en hieruit afgeleide emissieplafonds voor het Vlaams Gewest, en reductiepercentages t.o.v. 1990

Polluent	België	Vlaanderen
NO <sub>x</sub>	176 kton (- 48,1%)	58,3 kton (- 41,1%)
VOS	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 voor de parameters NMVOS en NO<sub>x</sub> een verdere onderverdeling gemaakt naar industrie, huishoudens en verkeer. Deze verdere onderverdeling is niet Europees vastgelegd, wel op Belgisch niveau. De doelstelling voor stationaire bronnen werd vertaald naar doelstellingen per gewest (zoals weergegeven in Tabel 9 voor Vlaanderen). Voor verkeer is er enkel een federale doelstelling (dus geen opsplitsing per gewest).

De nationale emissieplafonds uit de NEC-richtlijn zijn bindend. Indien een lidstaat niet voldoet, kan de EU sancties opleggen. Periodieke rapportering door de lidstaten over de voortgang in de realisatie van de nationale plafonds is verplicht.

De NEC-richtlijn is dus vergelijkbaar met het Gotenburg protocol. Ze behandelen allebei dezelfde stoffen, maar het verschil is dat de richtlijn een meer bindend karakter heeft dan het protocol. Hoewel de bepaling van de emissieplafonds volgens hetzelfde model gebeurd is (RAINS model van IIASA<sup>6</sup>), zijn de waarden in de richtlijn in bepaalde gevallen toch strenger.

De Europese richtlijn is dus te beschouwen als de vertaling van het Gotenburg protocol naar Europese wetgeving. De Commissie is immers verantwoordelijk voor de naleving van een internationaal verdrag, waarvoor de meer bindende Europese richtlijn kan zorgen.

In de thematische strategie luchtverontreiniging van de Europese Commissie is een herziening van de NEC-richtlijn voorzien. Dit houdt in dat emissieplafonds zullen worden opgelegd voor 2020 en mogelijk ook 2015. Naast de polluenten die reeds opgenomen zijn in de bestaande richtlijn, zal bij de herziening ook fijn stof worden opgenomen. Ook het Gotenburg protocol is momenteel in herziening. In het kader van deze herziening werden onder de Expert Group on Techno-economic Issues (EGTEI) o.a. werkgroepen opgericht voor stationaire motoren en kleine en middelgrote stookinstallaties<sup>7</sup>.

### → Overige Europese richtlijnen

- Richtlijn betreffende de luchtkwaliteit en schonere lucht (2008/xx/EG)
- Bevordering van elektriciteitsopwekking uit hernieuwbare energiebronnen (2001/77/EG)
- Verbranding afval (2000/76/EG) (nu ook onder IED)
- Richtlijn voor promotie van gebruik van energie uit hernieuwbare bronnen (2009/XX/EG)
- Voor meer uitleg bij deze richtlijnen, verwijzen we naar de 'BBT-studie voor verbranding van hernieuwbare brandstoffen' of de websites: <http://eur-lex.europa.eu> en <http://www.emis.vito.be>.

<sup>6</sup> Het RAINS-model is een geïntegreerd assessment model waarin de gehele causale keten is opgenomen van emissies, maatregelen en kosten, verspreiding en 'critical loads/levels'. Het model werd opgesteld door het International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) in Oostenrijk. Met behulp van dit model kan berekend worden op welke wijze de gestelde doelen op een zo kosteneffectief mogelijke wijze kunnen worden bereikt.

<sup>7</sup> Definitieve voorstellen en achtergronddocumenten van deze twee en andere werkgroepen binnen EGTEI zijn terug te vinden op <http://www.citepa.org/forums/egtei/egtei-index.htm>.

#### 2.4.4 Buitenlandse wetgeving

In de onderstaande tabellen wordt een overzicht gegeven van de wetgeving met betrekking tot emissies van stookinstallaties, stationaire motoren en gasturbines van enkele Europese lidstaten, in vergelijking met Vlaanderen. Voor de Nederlandse wetgeving werd een achtergronddocument (Kroon, et al., 2008) gepubliceerd waarin de toe te passen maatregelen (om de emissieniveaus te kunnen halen) worden toegelicht. In de tabel worden deze ook weergegeven. Voor de Duitse wetgeving werd wel beperkte informatie m.b.t. de toe te passen technieken gevonden, maar deze was voornamelijk op het nieuwe 1.BImSchV gericht: de installaties dienen bijna uitsluitend primaire maatregelen te gebruiken om te voldoen, bijvoorbeeld lage NO<sub>x</sub>-branders voor NO<sub>x</sub>-beperking. Voor TA Luft werd dergelijke informatie niet bekomen: er werd duidelijk benadrukt dat de emissiegrenswaarden uit TA Luft ook achterhaald zijn en aan herziening toe zijn.

Een korte toelichting bij de wetgeving en de volledige tabellen met geldende emissiegrenswaarden zijn terug te vinden in bijlage 2.

Tabel 10: Emissiegrenswaarden (mg/Nm<sup>3</sup>) voor nieuwe stookinstallaties op vaste brandstoffen in 5 Europese landen. (6% O<sub>2</sub>)

Polluent	Vermogen in MW <sub>th</sub>	Vlaanderen (VLAREM II)	Nederland (BEMS)	Duitsland (TA Luft, 1.BImSchV) !!!waarden omgerekend van 11% naar 6% O <sub>2</sub>	Oostenrijk (FAV)	Zwitserland (LRV) !!! waarden omgerekend van 7% O <sub>2</sub> naar 6% O <sub>2</sub>
<b>Datum in voege</b>						
		1995	2009	TA Luft:1964 1.BImSchV:2010	1997	1985
<b>Laatste herziening</b>						
		2009	/	TA Luft:2002 1.BImSchV: /		2010
NO <sub>x</sub>	0,3 - <1			536*	400	536
	1 - <2			536*	400	536
	2 - 5		100 (SCR)	536*	400	536
	5 - 10	300		536*	400	536
	10 - 20			429	350	214
20 - 50			429	350	214	
SO <sub>2</sub>	0,3 - <1			/	/	
	1 - <2		200 (brandstofkeuze of nageschakelde techniek)	1071/1393**	/	
	2 - 5	1250		1071/1393**	/	1071/1393**
	5 - 10			1071/1393**	/	
	10 - 20			1071/1393**	400	
20 - 50			1071/1393**	400		
stof	0,3 - <1	100		169	150	21
	1 - <2	100		54	150	21
	2 - 5	100	5 (doekfilter)	54	50	21
	5 - 10	50		21	50	21
	10 - 20	50		21	50	11
20 - 50	50		21	50	11	
CO	0,3 - <1			938	1000	
	1 - <2			161	150	
	2 - 5			161	150	
	5 - 10	250		161	150	
	10 - 20			161	150	
20 - 50			161	150		

\* Bij FBC (wervelbedverbranding) word emissiegrenswaarde 321 mg NO<sub>x</sub>/Nm<sup>3</sup>.

\*\* 1393 mg/Nm<sup>3</sup> geldt voor verbranding van steenkool. 1071 mg/Nm<sup>3</sup> voor de verbranding van andere vaste brandstoffen. Bij FBC wordt emissiegrenswaarde 375 mg SO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup>

Tabel 11: Emissiegrenswaarden (mg/Nm<sup>3</sup>) voor nieuwe stookinstallaties op vloeibare brandstoffen in 5 Europese landen(3% O<sub>2</sub>)

Polluent	Vermogen in MW <sub>th</sub>	Vlaanderen (VLAREM II)	Nederland (BEMS)	Duitsland (TA Luft, 1.BImSchV) Waarden voor lichte stookolie	Oostenrijk (FAV) waarden voor lichte stookolie	Zwitserland (LRV)
<b>Datum in voege</b>	<b>1995</b>	<b>2009</b>	<b>2009</b>	<b>TA Luft:1964 1.BImSchV:2010</b>	<b>1997</b>	<b>1985</b>
<b>Laatste herziening</b>	<b>2009</b>	<b>/</b>	<b>/</b>	<b>TA Luft:2002 /</b>	<b>/</b>	<b>2010</b>
NO <sub>x</sub>	0,3 - < 2	185		171	450	
	2 - 5	525		171	400	
	5 - 10	400	100	171	350	120-150**
	10 - 20	400	(aangepaste brander)	180/200/250*	350	
	20 - 50	150		180/200/250*	350	
SO <sub>2</sub>	0,3 - < 2	170				
	2 - 5	1700	200			
	5 - 10	1700	(brandstofkeuze of nageschakelde techniek)	850 (voor HFO)		1700
	10 - 20	1700				
	20 - 50	1700				
stof	0,3 - < 2	100		/	/	
	2 - 5	100		/	50	≤1% S: 80
	5 - 10	50		/	50	>1% S: 50
	10 - 20	50	(brandstof met laag asgehalte & optimale verbrandingscondities)	/	50	
	20 - 50	50		Max. roet = 1	35	
CO	0,3 - < 2			1300 (!)		
	2 - 5			1300 (!)	≤1 MW <sub>th</sub> : 100	
	5 - 10	175		1300(!)	>1 MW <sub>th</sub> : 80	
	10 - 20			180		
	20 - 50			80		

\* Waarde is afhankelijk van de werkingstemperatuur: respectievelijk voor <110°C/110°-210°C/>210°C.

\*\* Waarde is afhankelijk van de werkingstemperatuur: respectievelijk voor ≤110°C/>110°C.

(!) uitgedrukt in mg/kWh !!!

Tabel 12: Emissiegrenswaarden (mg/Nm<sup>3</sup>) voor stookinstallaties op aardgas in 5 Europese landen (3% O<sub>2</sub>)

Polluent	Vermogen (MW <sub>th</sub> )	Vlaanderen (VLAREM II)	Nederland (BEMS)	Duitsland (TA Luft, 1.BImSchV)	Oostenrijk (FAV)	Zwitserland
Datum in voege		1995	2009	TA Luft:1964 1.BImSchV:2010	1997	1985
Laatste herziening		2009	/	TA Luft:2002 /		2010
NO <sub>x</sub>	0,3 - 3	80		112 (!)		
	3 - 5	80		112 (!)	120	
	5 - 10	150	70 (aangepaste brander)	112 (!)	100	80/110*
	10 - 20	150		100/110/150*	100	
	20 - 50	150		100/110/150*		
SO <sub>2</sub>	0,3 - 3			/		
	3 - 10			/	/	/
	10 - 20	35	200 (brandstofkeuze)	/	/	
	20 - 50			10		
stof	0,3 - 3			/		
	3 - 10			/	/	/
	10 - 20	5	/	/	/	
	20 - 50			5		
CO	0,3 - 3			/		
	3 - 10			/		
	10 - 20	100		80	80	/
	20 - 50			50		

(!) Omgerekende waarde. Oorspronkelijk 120 mg/kWh. Voor omrekening efficiëntie 94% gebruikt (minimum vereist in 1.BImSchV).

\* Waarde afhankelijk van de werkingstemperatuur: respectievelijk <110°C/110°C-210°C/>210°C.

\*\* Waarde afhankelijk van de werkingstemperatuur: respectievelijk ≤110°C/>110°C.

Tabel 13: Emissiegrenswaarden (mg/Nm<sup>3</sup>) voor gasturbines in 4 Europese landen (15% O<sub>2</sub>)

Polluent	Brandstof	Aantal draaiuren	Vlaanderen (VLAREM II)	Nederland (BEMS) (omgerekend van 3% naar 15% O <sub>2</sub> )	Duitsland (TA Luft)	Zwitserland
	Datum in voege					
<b>Laatste herziening</b>						
NO <sub>x</sub>	Vloeibaar	<360 >360	200 75	47 (brandstofkeuze of nageschakelde techniek)	150	<40MW: 120 ≥40MW: 120
	Gas	<360 >360	150 50	47 (dry low NO <sub>x</sub> of water-/ stoominjectie)	75	<40MW: 150 ≥40MW: 50
SO <sub>2</sub>	Vloeibaar	<360 >360	0,1% <sup>5</sup>	67 (brandstofkeuze of nageschakelde techniek)	/	120
	Gas	<360 >360	12	67 (brandstofkeuze of nageschakelde techniek)	/	120
stof	Vloeibaar	<360 >360	50 30	5 (brandstof met laag asgehalte & optimale verbrandingscondities)	/	/
	Gas	<360 >360	/	/	/	/
CO	Vloeibaar	<360 >360	100	/	100	<40MW: 240 ≥40MW: 120
	Gas	<360 >360	100	/	100	<40MW: 240 ≥40MW: 120



Tabel 14: Emissiegrenswaarden (mg/Nm<sup>3</sup>) voor stationaire motoren in 4 Europese landen (5% O<sub>2</sub>)

Polluent	Brandstof	Vlaanderen (VLAREM II)	Nederland (BEMS) (stond oorspronkelijk in 3% O <sub>2</sub> )	Duitsland (TA Luft) Enkel voor > 1MWth	Zwitserland
<b>Datum in voege</b>		1995	2009	TA Luft: 1964 1.BImSchV: 2010	1997
<b>Laatste herziening</b>		2009	/	TA Luft: 2002 /	
NO <sub>x</sub>	Vloeibaar	1000	400 (groter katalysatorvolume)	<3: 1000 > 3: 500	250
	Gas	≤1 MW <sub>th</sub> : 500x η/30 1-5 MW <sub>th</sub> : 500 ≥5 MW <sub>th</sub> : 250	89 (SCR)	250/500 (afh. van motortype)	250
SO <sub>2</sub>	Vloeibaar	Gasolie: max 0,10 w% S Stookolie: max 1,00 w% S	178 (brandstofkeuze of nageschakelde techniek)	Nt vermeld	/
	Gas	/	178	Nt vermeld	/
stof	Vloeibaar	50	44 (brandstof met laag asgehalte & optimale verbrandingscondities)	20	50
	Gas	/	/	/	50
CO	Vloeibaar	650	Nt. vermeld	300	650
	Gas	650	Nt. Vermeld	300	650

Het is uit bovenstaande tabellen duidelijk dat er voornamelijk een groot verschil zit tussen VLAREM II en de recent herziene Nederlandse wetgeving in het BEMS. De emissiegrenswaarden van het BEMS zijn bijna overal (aanzienlijk) strenger.



In dit hoofdstuk beschrijven we de verschillende types stookinstallaties, stationaire motoren en gasturbines alsook de bijhorende milieu-impact.

Deze beschrijving heeft tot doel om een globaal beeld te scheppen van de toegepaste technieken en hun milieu-impact. Dit vormt de achtergrond om in hoofdstuk 4 de milieuvriendelijke technieken te beschrijven die kunnen worden toegepast om de milieu-impact van stookinstallaties, stationaire motoren en gasturbines 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 technieken. Het feit dat een techniek in dit hoofdstuk wel of niet vermeld wordt, betekent dus geenszins dat deze techniek wel of niet BBT is.



## 3.1 Procesbeschrijving - Stookinstallaties

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 afgegeven. In een centrale verwarmingsinstallatie of een elektriciteitscentrale bijvoorbeeld, wordt de verbrandingswarmte opgenomen door een medium (meestal water), dat de energie elders weer afgeeft.

Stookinstallaties kunnen op verschillende manieren ingedeeld worden, bijvoorbeeld volgens brandertype, brandstof, warmteoverdrachtsysteem,.... Doorgaans hangen de vorm en uitvoering af van de gebruikte brandstof. Voor de verschillende brandstoffen (vast, vloeibaar en gas) wordt hieronder kort een overzicht gegeven van de meest gebruikte installaties.

### 3.1.1 Brandstoftypes

#### → Vaste brandstoffen

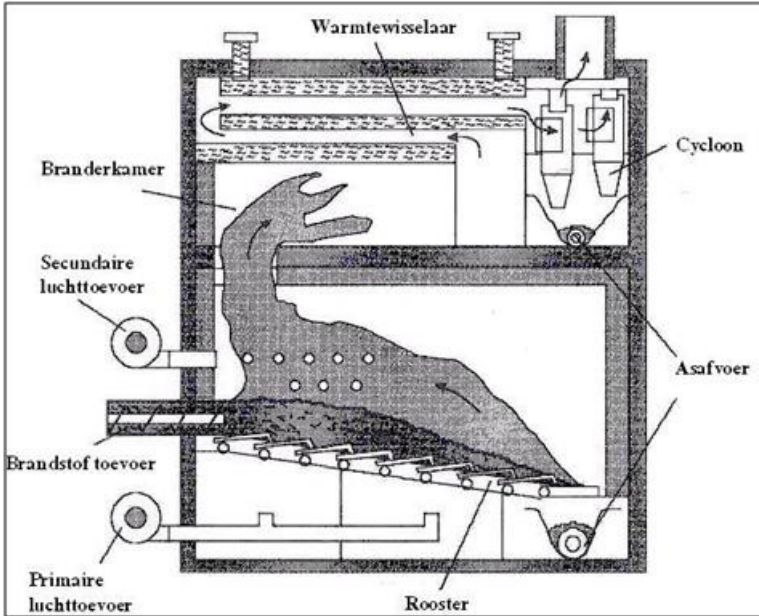
Voor de verbranding van vaste brandstoffen, zoals kolen, turf, biomassa, ... kunnen verschillende installaties onderscheiden worden. Binnen de in deze studie beschouwde vermogens, is het voornamelijk biomassa dat als vaste brandstof gebruikt wordt. Verbranding van biomassa valt echter buiten de scope van deze studie. Nieuwe installaties op kolen zijn eerder uitzonderlijk.

Een vaak toegepaste techniek voor de verbranding van grove brandstoffen (bv. stukskool, houtachtige grove biomassa) is die van *roosterverbranding*. Hierbij kunnen we twee typen onderscheiden, namelijk verbranding op een vast of een bewegend rooster. Om volledige verbranding te verkrijgen, is het belangrijk dat de brandstof homogeen over het rooster verdeeld wordt. De primaire lucht, nodig om de verbranding te voeden, wordt van onderaf door het rooster en de brandstof geblazen. Secundaire (en soms tertiaire) verbrandingslucht is bedoeld voor de verbranding van de ontwijkende gassen boven het rooster. Om de temperatuur van de roosters te beperken, kan gekozen worden voor luchtgekoelde of watergekoelde roosters. Stukgrootte van de brandstof is hier ook van belang: zijn de stukken te klein, dan vallen ze onverbrand door het rooster; zijn de stukken te groot, dan zal volledige verbranding moeilijker te bereiken zijn.

De voeding van de installatie kan manueel of automatisch gebeuren. Meestal vindt men manuele voeding enkel terug bij de kleinere vermogens ( $< 1 \text{ MW}_{th}$ ) (Kubica, et al., 2007). Het gebruik van manueel gevoede installaties neemt echter af. Automatische voeding garandeert doorgaans immers een betere controle van de verbrandingsprocessen, waardoor emissies beperkt worden. Daarnaast is er bij automatische voeding ook geen permanente aanwezigheid van een operator nodig.

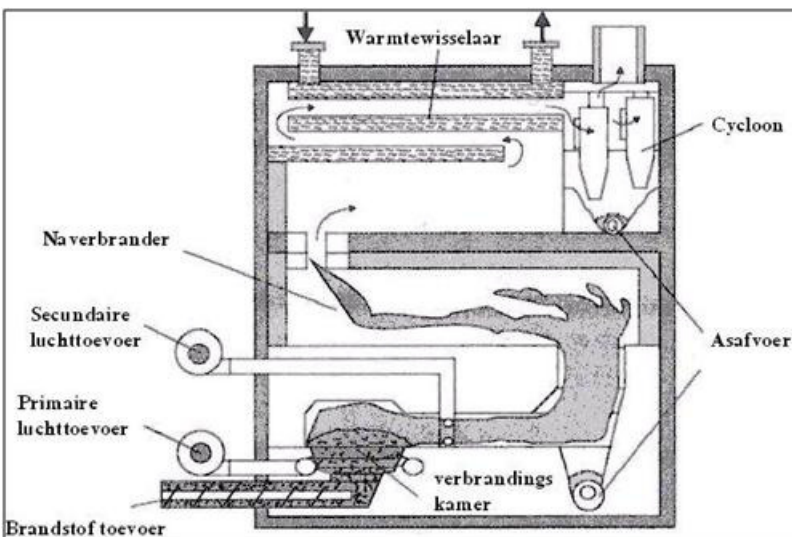
De meest gebruikte systemen voor de verbranding van vaste brandstoffen op roosters worden hieronder besproken.

- In een *trappenrooster* wordt de brandstof via een trechter op een bewegend trappenrooster gebracht. Door de beweging van het trappenrooster wordt de brandstof omgewoeld en getransporteerd. De brandstof doorloopt hierdoor achtereenvolgens verschillende fasen: drogen, pyrolyseren, vergassen en ten slotte verbranden. Primaire lucht wordt onderaan het rooster toegevoegd, secundaire lucht wordt boven de vlammen ingeblazen.



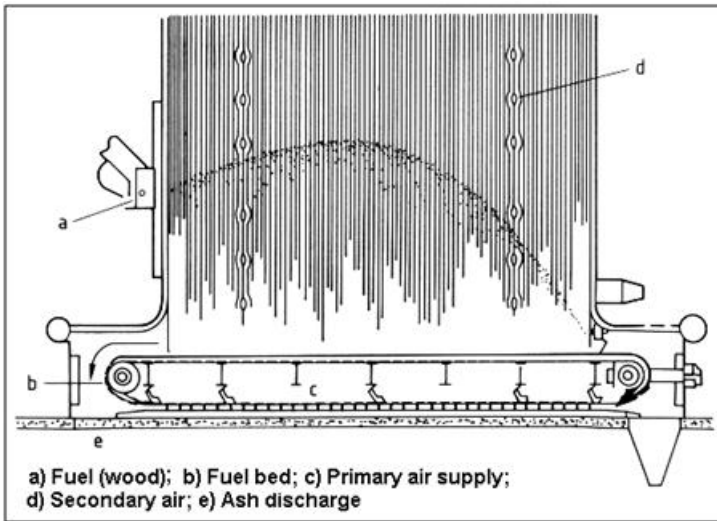
Figuur 2: Voorbeeld van een trappenrooster (schuin rooster) (BTG, 2005)

- Bij een *onderschroefstoker* wordt de brandstof via een schroef onderaan in de vuurhaard gebracht. Primaire lucht wordt door de vaste roosters rond de vuurhaard aangebracht. De brandstof wordt langzaam opgestuwd: de langs onder aangevoerde brandstof warmt traag op, terwijl aan de oppervlakte van het brandstofbed de temperatuur stijgt zodat er vergassing optreedt. De gevormde gassen mengen zich met de lucht en ontsteken door de hoge temperatuur. Toevoeging van secundaire lucht boven het brandstofbed verbetert de volledige verbranding.



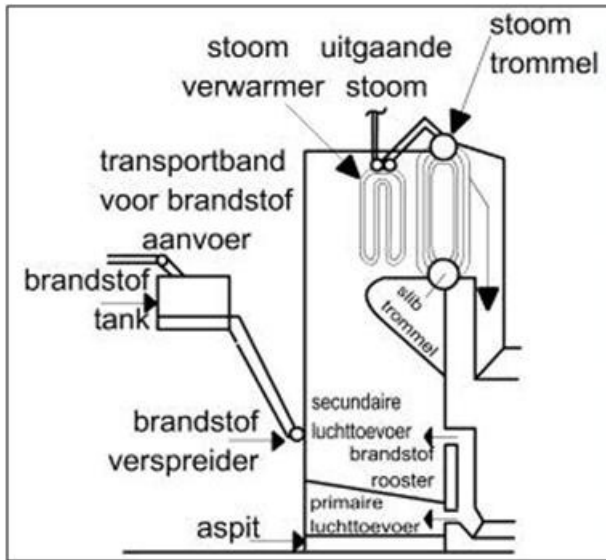
Figuur 3: Onderschroefstoker (BTG, 2005)

- In een *spreader stoker* wordt de brandstof vanuit een spreader in de wand, vaak een soort rad, op het rooster "gegooid". De grootte van de brandstofdeeltjes bepaalt hoe ver elk deeltje zal vliegen voor het op het rooster valt: grotere deeltjes vallen verder dan de kleine. Hierdoor ontstaat een vrij uniforme verdeling van de brandstof op het rooster, dat naar de voeding toe beweegt. De heel fijne deeltjes verbranden in de vlucht. Primaire lucht wordt onderaan het rooster ingeblazen, doorheen de brandstof. Secundaire lucht wordt in de verbrandingszone geblazen. In tegenstelling tot bv. een trappenrooster, kunnen bij dit type verbranding geen verschillende zones onderscheiden worden. De verbranding gebeurt vrij gelijkmatig op het rooster.



Figuur 4: Spreader stoker (EIPPC, 2006)

- Bij *inblaassystemen* wordt de brandstof bovenin de verbrandingskamer ingebracht. Brandstof wordt samen met een nauwkeurig berekende luchthoeveelheid pneumatisch in de vuurhaard gebracht. De grotere brandstofdeeltjes vallen op het rooster en branden daar verder uit. Fijnere deeltjes verbranden al tijdens de val naar het rooster. Vervolgens wordt secundaire lucht toegevoerd om volledige verbranding mogelijk te maken.

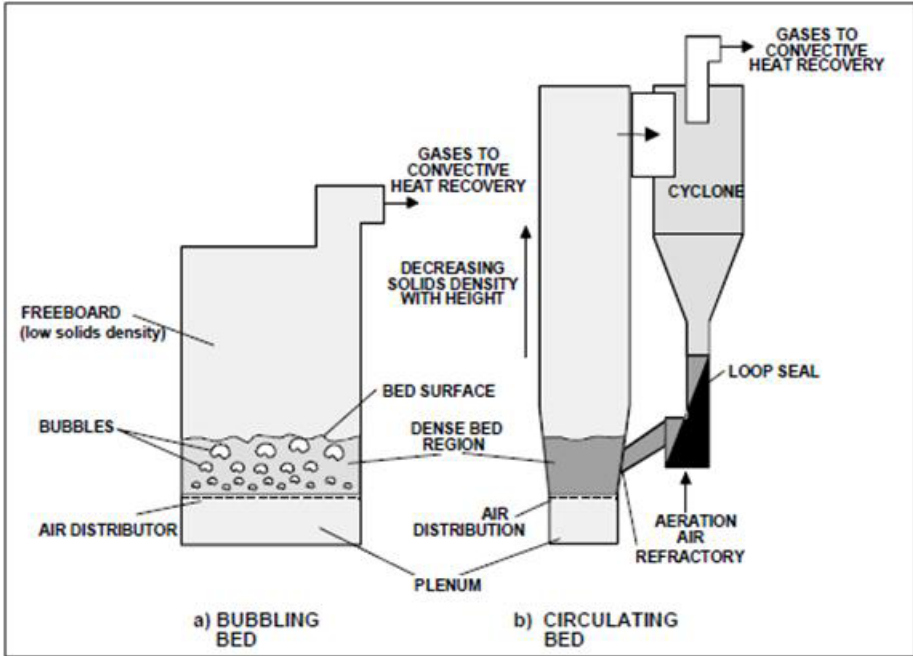


Figuur 5: Inblaassysteem (BTG, 2005)

Voor fijnere brandstoffen wordt *wervelbedverbranding* (FBC: fluidized bed combustion) veelvuldig toegepast. De brandstofdeeltjes zijn hier een stuk kleiner dan bij roosterovens (diameter < 6mm). In de verbrandingskamer van een wervelbedinstallatie bevindt zich een heet, inert materiaal, zoals zand (BTG, 2005). Door middel van een luchtstroom die door de geperforeerde bodem in de kamer wordt geblazen, wordt het zand opgewerveld. De snelheid van deze luchttoevoer is zodanig hoog dat het zand zich als het ware als een fluïdum gedraagt. De brandstof wordt in dit zogenaamde wervelbed ingebracht en zal intensief mengen met het zand: hierdoor ontstaat een efficiënte warmteoverdracht, de brandstof ontbrandt door de hoge temperatuur (gewoonlijk 700-1000°C) en kent een volledige verbranding. De geproduceerde warmte wordt direct uit het inwendige van het wervelbed afgevoerd via warmtewisselaars die in de verbrandingskamer zijn aangebracht.

Er kan een onderscheid gemaakt worden tussen verschillende uitvoeringen, namelijk de stationaire (BFB: bubbling fluidized bed combustion) en circulerende wervelbedverbranding (CFB: circulating fluidized bed combustion). Bij BFB is de snelheid van de ingeblazen lucht beperkt (1-2,5 m/s) en de beddeeltjes betrekkelijk groot (ca. 1mm). Het gefluïdiseerd bed blijft hierdoor onderin de reactor. Dergelijke stationaire systemen zijn voornamelijk geschikt voor kleinere vermogens (5-15 MW<sub>th</sub>). CFB wordt gekenmerkt door een grotere snelheid van de ingeblazen lucht (5-10 m/s) en kleinere beddeeltjes (0,2-0,4 mm), waardoor het bed en de brandstof naar boven geblazen worden. Deze systemen zijn minder gevoelig voor variaties in brandstofkwaliteit en zijn door hun grotere afmeting vooral geschikt voor grotere vermogens (> 15 MW<sub>th</sub>).





Figuur 6: Wervelbedverbranding in a) een stationair (bubbling) bed of b) een circulerend bed (EIPPC, 2006)

Het grote voordeel van een wervelbed ten opzichte van een roosteroven is voornamelijk de flexibiliteit. Schommelingen in de warmtevraag en brandstofsamenstelling zijn minder belangrijk, met name bij FBC. Daarnaast kennen dergelijke systemen een snelle verbranding waardoor de systemen een stuk compacter kunnen worden uitgevoerd.

Wanneer de stookinstallatie gevoed wordt met *poederkool*, worden speciale branders, namelijk suspensiebranders, gebruikt die de poedervormige brandstof samen met lucht in de verbrandingskamer blazen. Mits een voldoende hoge temperatuur, zal de stofwolk daar onmiddellijk vlam vatten en verbranden. Vaak wordt ook nog extra olie ingespoten om de verbranding verder te stimuleren.

	<i>Verbrandingstechnieken voor vaste brandstof</i>		
	<i>FBC</i>	<i>Spreader stoker</i>	<i>Pulverized coal</i>
Performantie	Beperkte emissie van onverbranden (vb.stof, CO, ...) Vrij lage verbrandings-temperatuur en dus beperkte NO <sub>x</sub> emissies	Beperkte emissie van onverbranden	Beperkte emissie van onverbranden
Toepassingsgebied	Vermogens vanaf 5 MW <sub>th</sub>	Vermogens vanaf 5 MW <sub>th</sub>	Vermogens vanaf 1 MW <sub>th</sub>

### → Vloeibare brandstoffen

In een stookinstallatie gestookt met vloeibare brandstoffen, worden druppeltjes brandstof zo fijn mogelijk in de verbrandingskamer gebracht. Dit gebeurt door middel van stoom, perslucht en/of mechanische processen. De vernevelde brandstof wordt zo goed mogelijk met de voor verbranding noodzakelijke lucht

gemengd om zo volledige 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.

Vloeibare brandstoffen kunnen ook in een wervelbedoven verbrand worden, samen met een vaste brandstof zoals kolen.

Daarnaast worden dergelijke brandstoffen ook ingezet in stationaire verbrandingsmotoren, zoals dieselmotoren, scheepsmotoren,...

### → Gasvormige brandstoffen

De verbranding van gasvormige brandstoffen in stookinstallaties is de eenvoudigste uitvoeringsmogelijkheid. Voor gasgestookte installaties kunnen heel wat verschillende branders gebruikt worden. Meestal zal er gewerkt worden met getrapte verbrandingslucht waarbij het gas bij de mond van de brander gemengd wordt met de lucht. Aan de brandermond wordt een reducerend milieu gecreëerd waardoor  $\text{NO}_x$ -vorming wordt tegengegaan. Voor meer uitleg over de verschillende brandertypes, zie 3.1.2 Brandertypes.

Net zoals bij vloeibare brandstoffen, worden gasvormige brandstoffen ook vaak ingezet in stationaire motoren en gasturbines.

## 3.1.2 Brandertypes

De functie van een brander is het introduceren van brandstof en verbrandingslucht in de verbrandingskamer. Dit dient te gebeuren bij de juiste snelheid, turbulentie en concentratie om zo de ontsteking en verbranding van de brandstof te verzekeren.

Een goede brander zorgt dus voor een goede menging van brandstof en verbrandingslucht, met de uiteindelijke bedoeling om met zo min mogelijk primaire energie (brandstof) en met een zo laag mogelijke emissie van  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  en stof, maximale nuttige energie te leveren.

Gasbranders kennen een veel eenvoudigere uitvoering dan branders voor vloeibare of vaste brandstoffen. De menging van gas met verbrandingslucht is immers veel eenvoudiger dan het verstuiven van vloeistoffen of verspreiden van vaste brandstofdeeltjes.

Gasgestookte installaties hebben meestal atmosferische injectiebranders of ventilatorbranders. Voor vloeibare brandstoffen worden enkel ventilatorbranders gebruikt. Injectiebranders brengen gas en primaire verbrandingslucht bij atmosferische druk in de verbrandingskamer. Ventilatorbranders (purge burners) brengen zowel de brandstof als de verbrandingslucht onder druk in de kamer. Deze druk wordt gecreëerd door een in de brander ingebouwde ventilator. Deze ventilatorbranders kunnen specifiek ontworpen zijn voor gas of gasolie verwarming (lichte stookolie), maar bestaan ook als dual-fuel uitvoering (dus voor de twee). Er is een verder onderscheid te maken tussen deze branders op basis van de werkingscontrole: eentrapsbranders hebben enkel de functies aan of uit; tweetrapsbranders hebben de functies aan of uit en mogelijkheid tot partiële ladingscontrole (drie toestanden: uit, partiële lading: kleine vlam, maximaal vermogen: grote vlam); modulerende branders tenslotte kunnen continu de luchthoeveelheid aanpassen naargelang de warmtebehoefte.

Daarnaast zijn nog tal van andere opdelingen mogelijk van beschikbare brandertypes. Zo zijn er de premix branders, waarbij gas en alle primaire lucht gemengd worden, alvorens in de verbrandingskamer te worden geblazen. Andere belangrijke brandertypes zijn de low- $\text{NO}_x$  en ultralow- $\text{NO}_x$  branders (LNB en ULNB). Deze zijn in staat de  $\text{NO}_x$ - en  $\text{CO}$ -emissies tot zeer lage waarden terug te brengen, bijvoorbeeld door interne rookgasrecirculatie. (voor meer informatie, zie hoofdstuk 4).

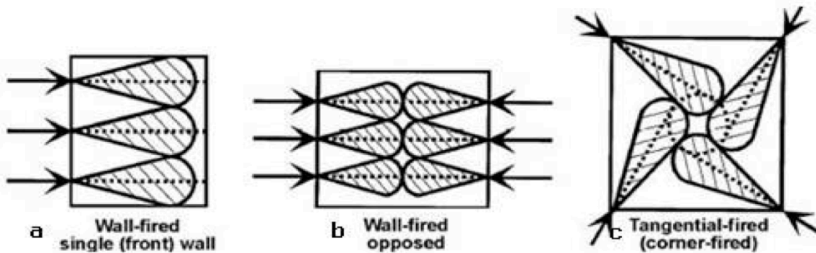
Ook de plaatsing van de brander(s) in de ketel kan verschillen. In de branders wordt het brandstofmengsel via straalbuizen in de verbrandingskamers gespoten en verbrand met de verbrandingslucht. Volgende systemen van brandstoftoevoer worden zoal gebruikt:

- 'front fired' systeem:

De branders bevinden zich ofwel naast elkaar of tegenover elkaar ('opposed firing'). Eens de brandstof is ontstoken, verspreidt de ontstane warmte zich terug richting straalbuizen om zo de nodige ontstekingsenergie te leveren voor stabiele verbranding. (zie Figuur 7 a en b)

- 'tangential-' of 'corner-fired' systeem:

Bij tangentieel opgestelde branders is de turbulentie in het midden van de vlam dusdanig dat de brandstof en de verbrandingslucht traag worden gemengd. Dit reduceert de vlamtemperatuur en dus de vorming van thermische  $\text{NO}_x$ . (zie Figuur 7 c)



Figuur 7: Voorbeelden van brandersystemen (EIPPC, 2006)

### 3.1.3 Afvoer bodemassen

Er kan een onderscheid gemaakt worden tussen 'dry- en wet-bottom ketels', afhankelijk van de techniek voor afvoer van de bodemassen. Dit onderscheid is van toepassing op ketels gestookt met vaste brandstoffen (poederkool bijvoorbeeld).

Dry-bottom-ketels worden gestookt met kolen waarvan de as een hoog smeltpunt heeft. De as wordt in droge toestand met schrapers en transporteurs verwijderd. Tachtig tot negentig procent van de as wordt via de rookgassen mee getransporteerd en door middel van het ontstoffingssysteem gecapteerd. Deze techniek wordt in Europa het meest gebruikt.

In wet-bottom-ketels (slag-tap ketels) worden kolen gestookt waarvan de as een laag smeltpunt heeft en dus in vloeibare toestand van de vuurhaardbodem kan worden verwijderd.

### 3.1.4 Ontwerptemperatuur

De ontwerptemperatuur van een ketel is iets waar vooral in de context van gebouwenverwarming veel over gesproken wordt.

Een klassieke verwarmingsketel verwarmt het water voor centrale verwarming tot temperaturen tussen 70° en 90°C. Dat warme water vertrekt vanuit de verwarmingsketel naar de verwarmingselementen om van daaruit terug naar de ketel te keren, waar het volledige proces opnieuw begint. Dit betekent concreet dat de ketel het water voortdurend op een tamelijk hoge temperatuur moet brengen en dat om een gebouw tot ongeveer 20°C te verwarmen. Hierdoor ontstaan onnodig hoge energieverbruiken en emissies.

Een lagetemperatuurketel is daarentegen in staat om de temperatuur van het water lager te houden, zonder dat men hiervoor moet inboeten aan comfort. Met temperaturen tussen 30 en 70°C zit de ketel doorgaans bij een veel lagere watertemperatuur dan een conventionele ketel. Dit resulteert in een behoorlijke verlaging van het verbruik, aangezien ook warmteverliezen beperkt blijven. Een belangrijke randvoorwaarde hierbij is wel dat er een goede afstemming is met de verwarmingselementen: meestal opteert men voor wand- of vloerverwarming, hoewel ook overgedimensioneerde radiatoren of convectoren kunnen dienen. Er is immers een groter oppervlak nodig om bij de lagere temperatuur het gebouw warm te krijgen.

## 3.2 Procesbeschrijving – Verbrandingsmotoren en gasturbines

In een verbrandingsmotor wordt brandstof in de cilinder verbrand. Hierdoor komt de energie uit de brandstof vrij. Door de stijging in temperatuur wordt een drukverhoging veroorzaakt. Deze verhoogde druk zorgt ervoor dat de zuiger naar beneden geduwd wordt waardoor arbeid wordt geleverd.

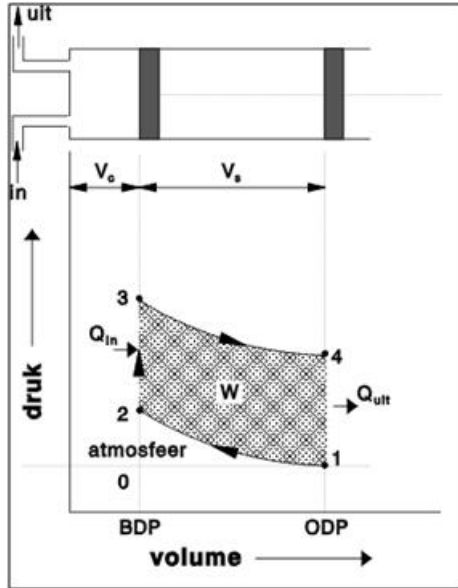
Er bestaan verschillende soorten verbrandingsmotoren. Zo kan er een onderscheid gemaakt worden tussen motoren op basis van de brandstof die gebruikt wordt, namelijk dieselmotoren, gasmotoren of 'dual fuel' motoren. Een andere mogelijke basis voor onderverdeling is het werkingsprincipe, namelijk tweetakt- of viertaktmotor. In deze studie wordt een onderscheid gemaakt tussen stationaire motoren (gasmotoren en dieselmotoren) en gasturbines.

### 3.2.1 Gasmotor

Een gasmotor is een zuigermotor die werkt volgens het thermodynamisch principe van de 'Otto-cyclus'. Bij de viertakt Otto-motor of mengselmotor kunnen vier afzonderlijke slagen onderscheiden worden in het kringproces, namelijk:

- de inlaatslag;
- de compressieslag;
- de arbeidsslag;
- de uitlaatslag.

Tijdens de slagen beweegt de zuiger tussen het onderste dode punt (ODP) en het bovenste dode punt (BDP).



Figuur 8: Geïdealiseerd p-V diagram van de Otto-cyclus

In het viertaktproces kunnen eigenlijk 6 deelprocessen onderscheiden worden:

- 0-1: inlaatslag
- 1-2: gasmengsel wordt adiabatisch (zonder warmte-uitwisseling) gecomprimeerd
- 2-3: gasmengsel wordt isochoor (constant volume) verbrand
- 3-4: verbrandingsgassen expanderen adiabatisch
- 4-1: de verbrandingsgassen worden isochoor afgevoerd
- 1-0: de zuiger beweest terug naar het BDP

Door de ligging van ODP en BDP liggen de volumina  $V_c$  (volume verbrandingsruimte) en  $V_s$  (het slagvolume) vast. Samen bepalen deze de compressieverhouding:

$$\varepsilon = (V_c + V_s)/V_c$$

Bij aardgasmotoren komen in de praktijk compressieverhoudingen voor tussen 8 en 12,5. Deze compressieverhouding bepaalt uiteindelijk het theoretisch rendement van de Ottocycclus, waarbij

$$\eta = \{1 - (1/\varepsilon)^\kappa\} \times 100\%$$

met  $\kappa$  de specifieke warmteverhouding.

Zuiver thermodynamisch gezien is het theoretisch mechanisch rendement van de Ottomotor dus afhankelijk van 1 grootte, namelijk de compressieverhouding. Voor een gasmotor worden bij een courante compressieverhouding van 10-12 theoretische rendementen van 55-60% bereikt. In werkelijkheid zijn de mechanische rendementen van Ottomotoren aanzienlijk lager. De voornaamste verliezen die optreden zijn onder andere een onvolledig benutte compressieverhouding, warmteverliezen van het koelwater, een niet ideaal gasmengsel, onvolledige verbranding, wrijvingsverliezen, smoorverliezen, etc. Deze verliesposten zijn de oorzaak voor een aanzienlijk lager rendement in werkelijkheid dan wat theoretisch haalbaar is.

Om het motorvermogen te vergroten moet de effectieve druk verhoogd worden. In moderne gasmotoren wordt daarom vaak een drukvulling of turbo toegepast. Bij 'drukvulling' wordt door de wegstromende

uitlaatgassen een turbine aangedreven, die op haar beurt een compressor aandrijft, namelijk de 'turbo-compressor'. Hierdoor kan de zuiger met een aanzienlijk hogere druk gevuld worden waardoor ongeveer het dubbele mechanische vermogen behaald kan worden.

Een turbocompressor verhoogt de compressie-einddruk en de compressie-eindtemperatuur. Dit kan leiden tot 'spontane ontbranding' van het mengsel, ook wel 'kloppen van de motor' genoemd. Om dit te vermijden wordt het opgewarmde mengsel gekoeld met een tussenkoeler voor het de cilinder ingaat. Ook het resultaat van de turbocompressie wordt hierdoor verbeterd door de hogere dichtheid van het mengsel.

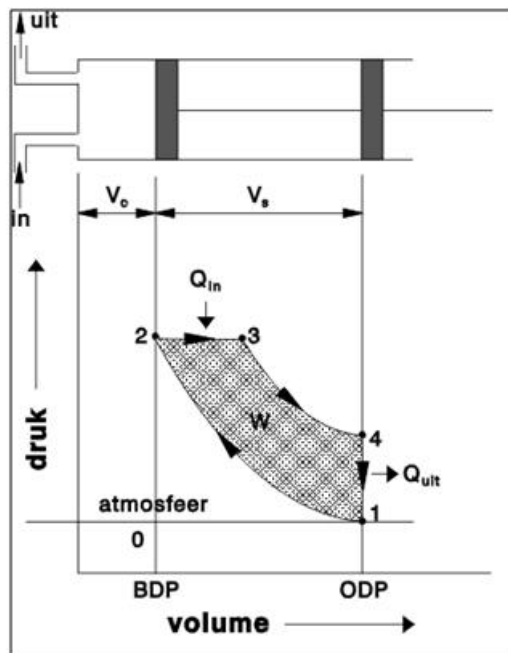
(COGEN Vlaanderen, 2006)

### 3.2.2 Dieselmotor

Dieselmotoren kunnen, net als aardgasmotoren, aangewend worden voor warmtekrachtoepassingen. Daarnaast worden dergelijke eenheden gebruikt voor piek-shaving en noodstroomtoepassingen waarbij het aantal draaiuren zeer beperkt blijft. Een aantal karakteristieken van de dieselmotor zijn vergelijkbaar met deze van de gasmotor, hoewel er ook een aantal verschillen zijn, onder andere op vlak van emissies.

De thermodynamische grondslag voor de dieselmotor is de Dieselcyclus. Net zoals bij de Ottomotor kan men vier afzonderlijke slagen onderscheiden in het kringproces:

- de inlaatslag;
- de compressieslag;
- de arbeidslag;
- de uitlaatslag.



Figuur 9: Geïdealiseerd p-V diagram van de Dieselcyclus

De zes deelprocessen die onderscheiden kunnen worden zijn in het geval van een dieselmotor de volgende:

- 0-1: inlaatslag
- 1-2: lucht wordt adiabatisch gecomprimeerd
- 2-3: diesel wordt isobaar (constante druk) verbrand
- 3-4: verbrandingsgassen expanderen adiabatisch
- 4-1: de verbrandingsgassen worden isochoor afgevoerd
- 1-0: de zuiger beweegt terug naar 0

In de dieselmotor wordt, in tegenstelling tot de Ottomotor, enkel verbrandingslucht gecomprimeerd. Even voor het einde van de compressieslag wordt dan fijn verdeelde brandstof in de cilinder gespoten waarbij ontbranding plaatsvindt. De compressierange is bij dieselmotoren aanzienlijk groter dan bij de Ottomotor, namelijk 12-24.

Het elektrisch rendement van de dieselmotor blijkt in de praktijk hoger dan dat van de Ottomotor. De voornaamste reden hiervoor is dat de motor werkt zonder smoorklep, waardoor dergelijke smoorverliezen niet optreden. Daarnaast zijn er lagere emissies van onverbrande koolwaterstoffen en minder verliezen aan de cilinderwanden. Omwille van dit hogere elektrische rendement is het thermische rendement lager.

De vermogenrange van op de markt beschikbare dieselmotoren is zeer groot. Deze varieert van motoren met enkele tientallen kWe tot zeer grote scheepsmotoren van tientallen MW.

(COGEN Vlaanderen, 2006)(Goovaerts, et al., 2002)

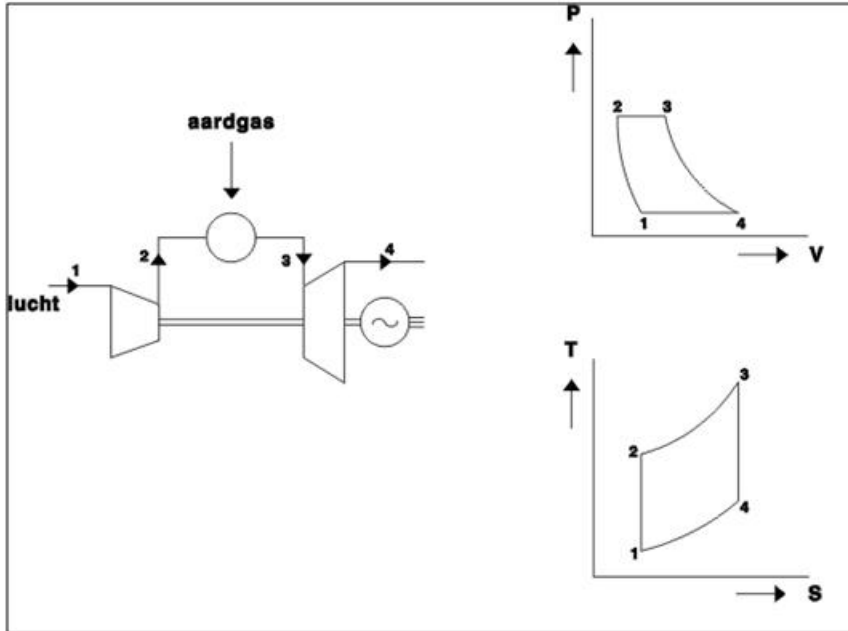
### 3.2.3 Gasturbine

Gasturbines worden toegepast in een brede vermogensrange, van 20 kW<sub>e</sub> tot 300 MW<sub>e</sub>. Doorgaans worden de turbines gestookt met aardgas, maar ook andere gassen met een lagere calorische waarde worden gebruikt als vloeibare brandstoffen. Doorgaans vinden we de gasturbines eerder in de hogere vermogensrange, voor elektriciteitsproductie (simple cycle of STEG-eenheden) en in grootschalige warmtekrachtkoppelingen (EIPPC, 2006).

Een gasturbine bestaat uit een compressor, verbrandingskamer en een expansieturbine.

Omgevingslucht wordt aangezogen en door de compressor samengedrukt, zodat druk en temperatuur van de lucht aanzienlijk stijgen (druk van 1 naar 6 tot 30 bar; temperatuur van 15 naar circa 350°C). De gecomprimeerde, voorverwarmde lucht wordt naar de verbrandingskamer gevoerd, waarin fossiele brandstof wordt bijgevoegd (onder druk) zodat verbranding kan plaatsvinden. Verbrandingstemperaturen lopen op tot 2000°C. De hete verbrandingsgassen ( $T > 1000^{\circ}\text{C}$ ) worden vervolgens geëxpandeerd over de expansieturbine. Deze turbine levert mechanische energie: het asvermogen kan via een generator omgezet worden in elektriciteit.

De theoretische cyclus van dit proces noemt men de Joule- of Braytoncyclus.



Figuur 10: Schematische voorstelling van een gasturbine

Ook in deze cyclus zijn in verschillende fasen te onderscheiden:

- 1-2: isentrope (constante entropie) compressie in de compressor
- 2-3 isobare warmtetoevoer
- 3-4: isentrope expansie in de turbine
- 4-1: isobare warmteafvoer

Uitlaatgassen van de expansieturbine hebben nog een temperatuur van 350-550°C. deze temperaturen laten toe om warmte in de vorm van bijvoorbeeld hoge druk stoom te recupereren (warmtekrachttoepassingen). (COGEN Vlaanderen, 2006)

Gasturbines hebben meestal een vermogen van enkele MW<sub>e</sub> tot meer dan 300 MW<sub>e</sub> en zijn dus eerder complementair aan verbrandingsmotoren dan wel concurrentieel. Momenteel zijn ook microgasturbines beschikbaar met een vermogen van 20-250 kW<sub>e</sub>. Om het elektrisch rendement van dergelijke gasturbines op peil te houden, worden ze uitgerust met een recuperator of warmtewisselaar waardoor ze een elektrisch rendement bereiken in de grootteorde van de gasmotor in deze vermogensrange (BTG, 2005).

### 3.3 Warmteproductie, elektriciteitsopwekking en WKK

#### 3.3.1 Warmteproductie in ketelsystemen

Bij verbrandingsprocessen wordt thermische energie (warmte) geproduceerd. Om deze warmte te kunnen benutten, moet de warmte overgedragen worden op een medium, namelijk water, stoom of thermische olie. Er bestaan verschillende keteltypes afhankelijk van de manier waarop de warmte wordt overgedragen.



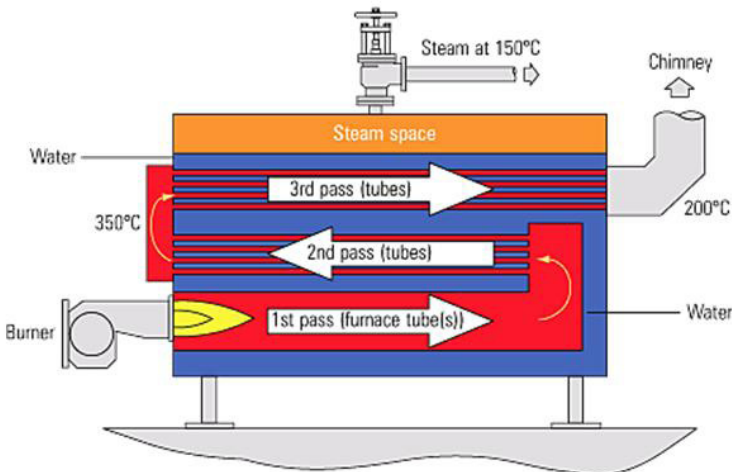
### → Vlampijpketel

Een vuurgangvlampijpketel of cilindrische ketel, bevat binnen de cilindrische ketelwand een of meer vuurgangen, vlampijpen, een vlamkast, water en stoom. Het geheel is van isolatie voorzien. Elke vuurgang heeft een brander.

In een vlampijpketel lopen de rookgassen van de verbranding vanuit de vuurgang doorheen pijpen, welke omgeven zijn door water. De warmte van de rookgassen wordt door thermische geleiding doorheen de wand afgegeven aan het water dat zich in het ketellichaam bevindt. Doorgaans wordt het warme water gebruikt voor verwarmingsdoeleinden of wordt het omgezet tot stoom voor gebruik in processen.

Dit type ketel wordt voornamelijk toegepast voor het produceren van lage- en middendrukstoom van 1-20 bar met vermogens van ca. 0,3–10 MW (meestal processtoom). De wanddikte van de pijpen zal immers toenemen naarmate de stoomdruk (extern) toeneemt. Hoe dikker de wand, hoe trager de warmtegeleiding.

Vlampijpketels bestaan in drietreks- en viertreksuitvoering. Historisch gezien zijn er ook nog de tweetreksketels, maar die vindt men vandaag de dag nog zelden. Hoe meer 'trekken' een boiler heeft, hoe meer warmte van de rookgassen kan worden overgedragen: de ketel is dus efficiënter.

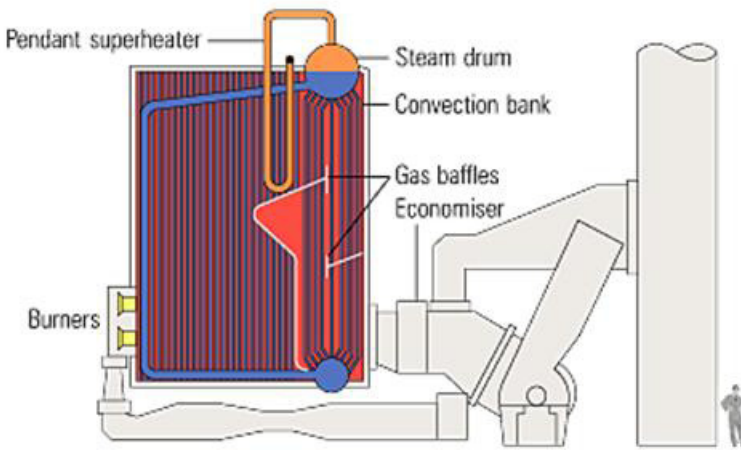


Figuur 11: Voorbeeld van een drietreks vlampijpketel (Spirax Sarco, 2010)

Meestal vindt men deze ketels in de grotere vermogens terug, bijvoorbeeld voor industriële verwarming of stoomproductie. Uit gesprekken met leveranciers blijken vooral de kleine vermogens voornamelijk en bijna uitsluitend uit condenserende ketels te bestaan. Vanaf een of enkele MW vindt men wel klassieke ketels, voornamelijk vlampijpketels.

### → Waterpijpketel

Een waterpijpketel is in feite het omgekeerde van een vlampijpketel. Zoals de naam reeds zegt, bevinden water en stoom zich in deze ketel in de pijpen, omringd met de rookgassen. Na het verlaten van de vuurhaard passeren de verbrandingsgassen doorgaans een of meer economizers en een luchtverhitter.



Figuur 12: Voorbeeld van een waterpijpketel (Spirax Sarco, 2010)

Waterpijpketels kenmerken zich doorgaans door hun grote afmetingen en rechthoekige vormen. De ketels kunnen voorzien zijn van meerdere branders. Deze ketels kennen de meeste toepassingen daar waar nood is aan hogedrukstoom (50-300 bar) met vermogens van 10-1500 MW bij elektrische centrales en industrie, zoals grote papierfabrieken.

Waterpijpketels kennen verschillende uitvoeringen.

#### → Thermische olieketel

In dit type ketel wordt thermische olie opgewarmd, in plaats van water, en als medium voor warmteoverdracht ingezet. Thermische olieketels worden ingezet waar processen hele hoge temperaturen verlangen. Warm water ketels gaan typisch tot 110°C, stoom/heet water ketels tot ca. 225°C en met thermische olie kun je processen bedienen tot doorgaans ca. 320°C.

### 3.3.2 Elektriciteitsopwekking

Elektriciteitsopwekking door verbranding kan gebeuren in gesloten thermische cycli of in open processen.

In de gesloten thermische cycli, met de stoomturbine als één van de voornaamste toepassingen, zijn de verbrandingsprocessen en de stroomgeneratie fysisch van elkaar afgesloten. De warmte van het hete verbrandingsgas wordt via een warmtewisselaar afgestaan aan het procesmedium in een tweede cyclus. Op deze manier 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 vooral geschikt zijn voor verbranding van vaste brandstoffen. Open cycli worden vooral toegepast voor gasvormige en vloeibare brandstoffen gebruikt in interne verbrandingsmotoren en gasturbines.

Voor verdere informatie verwijzen we naar de BBT studie voor grote stookinstallaties en stationaire motoren uit 2002 (Goovaerts, et al., 2002).

### 3.3.3 WKK

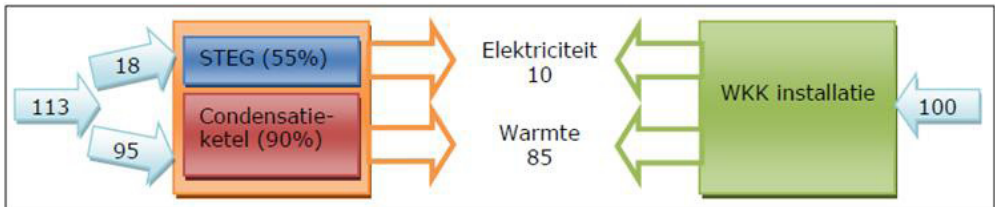
(COGEN Vlaanderen, 2006)

Warmtekrachtkoppeling of WKK is de gecombineerde, gelijktijdige opwekking van warmte en elektriciteit.

Eenzelfde installatie kan dus de volledige energiebehoefte, onder de vorm van warmte en elektriciteit, opvangen. Omdat warmte moeilijk te transporteren is, bevindt de installatie zich dicht bij de warmteverbruiker.

De hoogwaardige warmte (1200°C) die vrijkomt bij het verbranden van de brandstof wordt eerst gebruikt voor het produceren van mechanische energie die dan verder via een alternator wordt omgezet in elektriciteit. De laagwaardige restwarmte die overblijft (met een temperatuur tussen 80°C en 500°C) wordt dan gebruikt om te voldoen aan de specifieke warmtevraag van een glastuinbouwbedrijf, een ziekenhuis,...

Het grote voordeel van warmtekrachtkoppeling is dat bij gezamenlijke opwekking van warmte en elektriciteit de in de brandstof aanwezige nuttige energie veel beter wordt benut. Bij cogeneratie is daarom minder brandstof nodig dan bij een gescheiden productie van eenzelfde hoeveelheid warmte en elektriciteit.



Figuur 13: Vergelijking van de brandstofbenutting bij gescheiden opwekking van warmte en elektriciteit, en bij WKK

De meeste WKK's werken op fossiele brandstoffen, maar het is ook mogelijk om hernieuwbare energiebronnen als brandstof te gebruiken (bv. biomassa of biogas). Een dergelijke uitvoering biedt dan een dubbel voordeel: er wordt niet alleen een milieuvriendelijke brandstof gebruikt, maar deze wordt ook optimaal benut.

Minder brandstofverbruik heeft nog een ander belangrijk voordeel, namelijk dat de uitstoot van schadelijke stoffen (roet, PM, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, ...) gereduceerd wordt.

Randvoorwaarden bij het gebruik van WKK is dat er een permanente en vrij constante afname van warmte van een voldoende capaciteit nodig is.

Warmtekrachtkoppeling kan op verschillende manieren worden uitgevoerd.

Omdat vaste brandstoffen meestal direct verbrand worden, worden deze doorgaans ingezet voor warmteproductie. Met behulp van stoomturbines kan ook hier elektriciteit opgewekt worden en wordt WKK mogelijk. Stoomturbines worden algemeen gezien gekoppeld aan een warmtebron, zoals een boiler, waarin verschillende brandstoffen (zoals vaste) gestookt kunnen worden.

Ook vloeibare brandstoffen in bijvoorbeeld dieselmotoren komen in aanmerking voor toepassing in een WKK. Belangrijk bij het gebruik van dieselmotoren als warmtebron is de afkoeling van de rookgassen. Indien deze te ver worden afgekoeld zullen ze condenseren met de mogelijke vorming van zwavelzuur tot gevolg wat kan leiden tot corrosieproblemen. Dit is te wijten aan het doorgaans hogere zwavelgehalte van de vloeibare brandstoffen. In vele gevallen worden gasmotoren of gasturbines gebruikt in WKK's.

### 3.4 Milieuaspecten

Bij verbrandingsprocessen zijn het voornamelijk emissies naar de lucht die een probleem vormen. Bij verbranding komen onvermijdelijk stoffen, zoals NO<sub>x</sub> en CO<sub>2</sub>, vrij in de atmosfeer. Emissies naar andere milieucapartimenten, zoals bodem en water, zijn veel minder van belang en treden op ten gevolge van

de uitbating van de verbrandingsinstallaties. Zo kan brandstofopslag leiden tot emissies naar de bodem en kunnen secundaire milieuvriendelijke technieken, zoals natte wassers, aanleiding geven tot emissies naar water. In deze studie wordt de nadruk gelegd op de emissies te wijten aan het verbrandingsproces. Het is dan ook daarom dat in wat volgt de focus gelegd wordt op emissies naar de lucht, waarbij de nadruk wordt gelegd op NO<sub>x</sub>, CO, SO<sub>2</sub> en stof. Andere emissies naar de lucht van bijvoorbeeld zware metalen of chlorides, worden kort toegelicht, maar vormen niet het grootste aandachtspunt. Naast emissies naar lucht vormt ook energie-efficiëntie een belangrijk aandachtspunt.

### 3.4.1 Energie-efficiëntie

Energie-efficiëntie is een belangrijk aandachtspunt bij de verbranding van fossiele brandstoffen. Verschillende elementen spelen hierbij een rol:

- **Klimaatverandering:** Door de verbranding van fossiele brandstoffen ontstaat het broeikasgas CO<sub>2</sub>. Elke eenheid brandstof die verbrand wordt betekent meer CO<sub>2</sub>-emissies. Hoe efficiënter de installatie, hoe minder brandstof nodig zal zijn voor eenzelfde output en hoe minder CO<sub>2</sub> er in totaal zal worden geëmitteerd;
- **Uitputting fossiele brandstoffen:** De voorraad fossiele brandstoffen is eindig. Een belangrijke maatregel om deze uitputting tegen te gaan is uiteraard het overschakelen op hernieuwbare brandstoffen, zoals biomassa of zonne-energie. Uiteraard is het niet mogelijk onmiddellijk alle fossiele brandstoffen te vervangen door dergelijke alternatieven. Waar fossiele brandstoffen worden ingezet, moet veel aandacht gegeven worden aan de efficiëntie waarmee deze brandstoffen worden aangewend. Op deze manier kan optimaal gebruik gemaakt worden van de schaarse voorraden die nog resten.

Bij nieuwe verbrandingsinstallaties wordt al veel aandacht besteed aan energie-efficiëntie. Het rendement van een stookinstallatie ligt steeds vaker rond 100% door de grootschalige toepassing van de condensatietechnologie. Bij verwarmingsketels <1MW worden steeds vaker condensatieketels gebruikt (geïntegreerd systeem) welke een rendement rond 98,3% voor gas halen (rendementen naar bovenste verbrandingswaarde). Bij grotere vermogens werkt men steeds vaker met een nageschakelde condensor, waardoor ongeveer 94-97% rendement (respectievelijk gas, stookolie) mogelijk wordt. Ook de koppeling tussen warmte- en elektriciteitsproductie (WKK) betekent een efficiëntere aanwending van de primaire energiebronnen.

### 3.4.2 Emissies naar lucht

(EIPPC, 2006)

Verbranden van fossiele brandstoffen in stookinstallaties, verbrandingsmotoren en gasturbines, resulteert in een belangrijke impact naar de lucht. Bij de verbrandingsprocessen worden emissies naar de lucht bepaald door:

- de chemische samenstelling en de aard van de brandstof;
- de installatie (zowel ontwerp als eventuele rookgasreiniging);
- het gebruik van de installatie.

De vorming van emissies bij verbranding in stookinstallaties verloopt anders dan bij het gebruik ervan in motoren. Bij stookinstallaties is het vooral de brander die een belangrijke invloed heeft op de vorming van emissies. Ook de vuurhaard, bijvoorbeeld de belasting en grootte t.o.v. de vlamlengte, spelen een rol, maar vaak is de impact ervan minder groot dan de impact van de brander. Bij motoren spelen, naast het type brandstof, de luchtvochtigheid en de belasting ook de motorkarakteristieken een belangrijke rol. Hierbij zijn

de (homogene) verbrandingstemperatuur en het ontwerp van de verbrandingskamer van belang.

Tabel 15: De geschatte bijdrage tot de totale Europese emissies te wijten aan verbrandingsinstallaties  $\leq 50 \text{ MW}_{\text{th}}$ , berekend in het RAINS model.

Polluent	Jaar 1990	1995	2010
NO <sub>x</sub>	4.5%	5%	7%
SO <sub>2</sub>	11%	8%	7%
PM <sub>2,5</sub>	25%	25%	19%
PM <sub>10</sub>	22%	20%	15%
NH <sub>3</sub>	0.5% - 1%		
NMVOs	7%	7%	7%

De voornaamste emissies naar de lucht worden hieronder besproken. Daarbij wordt vooral nadruk gelegd op de factoren die invloed hebben op de vorming van de verschillende pollutanten. Er wordt ook geprobeerd telkens een idee te geven van de typische concentratieniveaus. Belangrijk is hierbij wel dat deze ranges soms heel breed kunnen zijn, afhankelijk van de toegepaste technieken. Voor nieuwe installaties kan men er wel van uit gaan dat deze allemaal uitgerust zijn met primaire maatregelen om de vorming van emissies te beperken (zie hoofdstuk 4).

#### → NO<sub>x</sub>

NO<sub>x</sub> omvat voor het grootste deel stikstofmonoxide (NO) en stikstofdioxide (NO<sub>2</sub>). Het grootste deel van de NO<sub>x</sub> wordt geëmitteerd onder de vorm van NO, wat uiteindelijk in de lucht geoxideerd wordt tot NO<sub>2</sub>.

De vorming van NO<sub>x</sub> steunt op drie essentiële mechanismen, gekenmerkt door de oorsprong van de stikstof en de omgeving waar de reactie plaatsvindt:

- Thermische NO<sub>x</sub>: wordt enkel gevormd bij hoge temperaturen door de reactie van zuurstof en stikstof uit de lucht;
- Fuel NO<sub>x</sub>: wordt gevormd met de stikstof aanwezig in de brandstof;
- Prompt NO<sub>x</sub>: resulteert uit het eerste contact tussen brandstof en lucht in de vlamzone.

De hoeveelheid NO<sub>x</sub> gevormd door het "prompt NO<sub>x</sub>" mechanisme is doorgaans een stuk kleiner dan de hoeveelheden gevormd door de andere reacties. De vorming van "thermische NO<sub>x</sub>" is sterk afhankelijk van de temperatuur. Indien de verbranding plaatsvindt bij temperaturen  $< 1000 \text{ }^\circ\text{C}$  zullen de NO<sub>x</sub> emissies significant lager liggen. De vorming van thermische NO<sub>x</sub> is het dominante reactiemechanisme waarbij NO<sub>x</sub> gevormd wordt in installaties gestookt met gasvormige of vloeibare brandstoffen.

De vorming van "fuel NO<sub>x</sub>" is afhankelijk van de stikstofinhoud van de brandstof, de verbrandingstemperatuur en de zuurstofconcentratie in het reactiemedium. De hoeveelheid brandstof NO<sub>x</sub> geproduceerd is het grootst in installaties gestookt met kolen, door de grotere stikstofgehalten in dit type brandstof. De volgende tabel geeft de gemiddelde stikstofinhoud van verschillende fossiele brandstoffen.

Tabel 16: Gemiddelde stikstofinhoud van verschillende fossiele brandstoffen

Brandstof	Brandstofgebonden stikstof (gew. %, droog, ash-free basis)
Kolen	0.5 – 2
Stookolie	< 1.0
Aardgas	0.0

Naast het brandstoftype is ook het verbrandingsproces van invloed op de NO<sub>x</sub> emissies, alsmede het vermogen en de vuurhaardbelasting. Algemeen geldt hoe groter de luchtvermaat en hoe hoger de verbrandingstemperatuur, hoe groter de emissies van NO<sub>x</sub> zullen zijn.

Emissies van NO<sub>x</sub> kunnen dus sterk variëren, afhankelijk van de toegepaste technieken (zie hoofdstuk 4), de gebruikte brandstof en de exploitatie-omstandigheden (vb. verbrandingstemperatuur en luchtvermaat). Voor stookinstallaties liggen de NO<sub>x</sub>-emissies typisch tussen 70 mg/Nm<sup>3</sup> en 220 mg/Nm<sup>3</sup> (bij 3% O<sub>2</sub>), afhankelijk van de al dan niet gebruikte technieken en brandstof (zie hoofdstuk 4) (persoonlijke communicatie leveranciers, 2010). Voor motoren, waar de verbrandingstemperaturen typisch hoger en minder homogeen zijn, gelden gemiddeld hogere NO<sub>x</sub>-emissiewaarden. Voor gasmotoren (op aardgas) zouden emissiewaarden van 90-190 mg/Nm<sup>3</sup> haalbaar zijn (bij 15% O<sub>2</sub>, ong. 250-500 mg/Nm<sup>3</sup> bij 5% O<sub>2</sub>) zonder secundaire maatregelen (zie hoofdstuk 4). Voor dieselmotoren liggen de waarden een stuk hoger, namelijk rond 1500-2000 mg/Nm<sup>3</sup> (bij 15% O<sub>2</sub>, ong. 4000-5300 mg/Nm<sup>3</sup> bij 5% O<sub>2</sub>) (EGTEI stationary engines subgroup, 2008). Ook de Amerikaanse EPA vermeldt dergelijke emissies voor dieselmotoren op conventionele diesel: van 1870 mg/Nm<sup>3</sup> voor ongecontroleerde emissies tot 1100 mg/Nm<sup>3</sup> bij toepassing van primaire maatregelen (15% O<sub>2</sub>) (US EPA, 1998-2010).

### → Zwaveloxides (SO<sub>x</sub>)

Emissies van zwaveloxides ontstaan door de aanwezigheid van zwavel in de gebruikte brandstof. Fossiele brandstoffen bevatten zowel zwavel als anorganische sulfides of organische componenten. Gedurende de verbranding worden de meeste zwaveloxides gevormd onder de vorm van SO<sub>2</sub>.

Voor vaste en vloeibare brandstoffen wordt, in de aanwezigheid van transitie-metalen die dienst doen als katalysator, 3 tot 4% van de zwavel ook geoxideerd tot zwaveltrioxide (SO<sub>3</sub>). Zwaveltrioxide wordt geabsorbeerd op stof en in het geval van vloeibare brandstoffen draagt dit bij tot de vorming van zure roet. Aardgas wordt doorgaans beschouwd als zwavelvrije brandstof. Dit is echter niet het geval voor sommige industriële gassen waardoor ontzwaveling van de brandstof noodzakelijk wordt. (OSPAR, 1997)

Emissies van SO<sub>2</sub> vormen voornamelijk een aandachtspunt bij brandstoffen met een hoog zwavelgehalte, zoals residuele brandstoffen (zware of zeer zware stookolie). Het zwavelgehalte van stookolie wordt meer en meer gereguleerd. Residuele brandstoffen bevatten ongeveer 0,7-1 gew% S (zie NBN T 52-717, 2006), terwijl gasolie verwarming (extra) 0,1-0,005 gew% S bevat (lichte en extralichte stookolie, zie NBN T 52-716 (2004)). Dit geeft uiteraard een heel ander beeld naar zwavelemissies toe: voor stookinstallaties gevoed met residuele brandstof zijn emissies van 1700 mg/Nm<sup>3</sup> mogelijk, gestookt met gasolie verwarming (0,1 gew% S) emissies van 180 mg/Nm<sup>3</sup>. Emissiegegevens van gasturbines op gasolie zijn niet onmiddellijk beschikbaar, omwille van de zeer beperkte toepassing van gasolie als brandstof voor gasturbines.

Brandstofkwaliteit speelt een belangrijke rol bij emissies van dieselmotoren. De zwavelinhoud varieert typisch van 0,1 of minder tot 4 gewichts% S. Middelgrote (tot 25 MW<sub>e</sub>) en lage-snelheid motoren (tot ongeveer 90 MW<sub>e</sub>) werken doorgaans met de meer 'economische' brandstoffen, zoals residuele brandstof (HFO). Kleine, hoge-snelheid motoren (tot ongeveer 5 MW<sub>e</sub>) verbranden eerder lichtere brandstoffen, namelijk laag-zwavelige brandstof of ultraaag-zwavelige diesel. Zoals vermeld hebben het as- en zwavelgehalte van de brandstof een belangrijke impact op het emissieniveau bij verbranding, zowel van zwavel als stof.

Zwavelmissies vormen geen probleem bij verbranding van aardgas in stookinstallaties, stationaire motoren of gasturbines. Aardgas wordt immers beschouwd als 'zwavelvrij'.

### → Stof en particulier materiaal (PM)

De vorming van stofemissies is afhankelijk van de aard van de brandstof en het verbrandingsproces. Stofdeeltjes (PM) kunnen ingedeeld worden in een ruwe fractie ( $> 1 \mu\text{m}$ ) en een fijnere fractie ( $< 1 \mu\text{m}$ ). De term TSP staat voor het totaal stof (Total Suspended Particles) welke alle deeltjes samen bevat, namelijk  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2,5}$ ,  $\text{PM}_1$ . PM staat voor particulate matter, waarbij de index de deeltjesdiameter in micrometer weergeeft. Het zijn vooral de fijne fracties die belangrijk zijn bij verbranding en thermische processen.

Zoals gezegd is de aard van de brandstof, met name het gehalte aan asvormende elementen, een belangrijke factor bij de vorming van stofemissies. Deze asvormende elementen kunnen opgedeeld worden in niet-vluchtige elementen (Ca, Si, Mg, Fe, Al) en vluchtige elementen (K, Na, S, Cl en vluchtige metalen). Tijdens het verbrandingsproces zullen de vluchtige elementen gedeeltelijk worden vrijgegeven in de gasfase terwijl de niet-vluchtige elementen in de vaste fase blijven.

Naast de asvormende elementen, is er een tweede type stofemissies die gevormd worden tijdens de verbranding zelf. Dit zijn aerosols. Aerosols, anorganische en organische, dragen in hoge mate bij aan de  $\text{PM}_{10}$  emissies.

- Anorganische aerosols worden gevormd uit vluchtige elementen. Deze komen vrij uit de brandstof tijdens de verbranding en komen terecht in de gasfase. De belangrijkste elementen zijn K, S en Cl.
- Organische aerosols zijn het gevolg van onvolledige verbranding en de condensatie van onverbrande koolwaterstoffen tijdens het koelen van rookgassen. De vorming van deze organische aerosols is dus het gevolg van onvolledige uitbrand van de rookgassen en kan beperkt worden door het optimaliseren van het verbrandingsproces (zie hoofdstuk 4).

Aerosolen zijn typisch moeilijker te verwijderen uit de rookgassen. Daarnaast kunnen ze dienst doen als condensatiekernen voor onverbrande koolwaterstofverbindingen, zoals PAK's (PolyCyclische Aromatische Koolwaterstoffen) welke kankerverwekkend zijn.

Vaste brandstoffen bevatten aanzienlijk meer asvormende elementen dan vloeibare of gasvormige brandstoffen. Stofemissies zullen dan ook voornamelijk een probleem vormen bij het gebruik van kolen (of biomassa) en niet zozeer bij stookolieverbranding en helemaal niet bij aardgasverbranding. De meeste kleine en middelgrote stookinstallaties op fossiele brandstoffen worden met deze laatste twee brandstoffen gestookt, waardoor de stofproblematiek hier minder groot is. Stof vormt wel een probleem bij dieselmotoren.

Voor stookolie worden typisch emissies van  $< 150 - 225 \text{ mg/Nm}^3$  stof vermeld (3%  $\text{O}_2$ ), voor aardgas  $< 1 \text{ mg/Nm}^3$  (3%  $\text{O}_2$ ).

### → CO

Koolstofmonoxide (CO) wordt gevormd wanneer de in de brandstof aanwezige koolstof niet volledig verbrand wordt. Het is in feite een intermediair product bij verbrandingsprocessen. De aanwezigheid ervan wijst op een mank lopend verbrandingsproces: de concentratie CO wordt zo veel mogelijk beperkt om efficiëntieverliezen te beperken. Het vormingsmechanisme van CO is te vergelijken met dat van thermische  $\text{NO}_x$  en VOS.

Verskillende factoren kunnen een invloed hebben op het al dan niet volledig verbranden van koolstof, bijvoorbeeld

- de efficiënte menging van lucht en brandstof;
- de aanwezige luchtvermaat beschikbaar voor volledige verbranding;
- de verblijftijd;
- het temperatuurprofiel in de ketel.

Om koolstofverliezen zoveel mogelijk te beperken, dienen deze parameters zoveel mogelijk getoetst te worden aan de verbrandingskarakteristieken van de brandstof.

Hoe kleiner de installatie wordt, hoe moeilijker het wordt om de verbranding te optimaliseren en hoe moeilijker het wordt om CO emissieniveaus te beperken.

Typische emissiewaarden voor verbrandingsinstallaties liggen tussen 50 en 250 mg/Nm<sup>3</sup>, maar zijn in grote mate afhankelijk van operationele factoren en eventuele NO<sub>x</sub> reductiemaatregelen (zie hoofdstuk 4). CO-emissies bij motoren liggen meestal iets hoger, zeker bij gasmotoren.

#### → CO<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub> is het eindproduct van volledige verbranding en vanuit technisch oogpunt dan ook een 'gewenst' product. De emissie is direct gerelateerd aan het koolstofgehalte van de brandstof. Voor kolen bedraagt de emissiefactor 95 kg/GJ, voor stookolie 78 kg/GJ en voor gas 56 kg/GJ. Emissie van CO<sub>2</sub> is bij de verbranding van fossiele brandstoffen onvermijdelijk, maar kan wel zoveel mogelijk beperkt worden, namelijk door zo efficiënt mogelijk te werken. Op die manier wordt de hoeveelheid primaire brandstof nodig voor de productie van eenzelfde energiehoeveelheid beperkt en dus ook de CO<sub>2</sub>-emissies.

#### → Andere polluenten

##### **Zware metalen**

De emissie van zware metalen ontstaat omwille van hun aanwezigheid als natuurlijke component van fossiele brandstoffen. De meeste van deze metalen (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Zn, V) komen vrij als verbindingen (bv. oxides, chlorides) samen met stofdeeltjes. Enkel kwik en selenium komen deels voor in de gasfase. De minder vluchtige elementen hebben de neiging te condenseren op het oppervlak van kleine partikels in de rookgasstroom.

De aanwezigheid van zware metalen in kolen is doorgaans enkele malen groter dan in olie of aardgas.

##### **Waterstofchloride en -fluoride**

HCl emissies zijn te wijten aan sporen van chloride in fossiele brandstoffen zoals kolen en olie. Bij de verbranding van deze brandstoffen worden kleine hoeveelheden chloride vrijgelaten. Deze worden samen met het vocht uit de lucht omgezet tot kleine waterstochloride druppeltjes.

Zoals chloride is ook fluoride een natuurlijk sporelement aanwezig in fossiele brandstoffen. Samen met waterstof vormt het waterstoffluoride (HF).

##### **Ammoniak (NH<sub>3</sub>)**

Emissie van ammoniak is niet zozeer te wijten aan de verbranding van fossiele brandstoffen, maar kan optreden bij rookgaszuivering in SCR of SNCR installaties tengevolge van de zogenaamde 'ammoniak slip'. Voor meer informatie hierover wordt verwezen naar hoofdstuk 4 (paragraaf 4.1.3).

##### **Vluchtige organische componenten (VOS)**

De emissie van vluchtige organische componenten bij stookinstallaties en stationaire motoren is te wijten aan de onvolledige verbranding van de brandstof. Net zoals CO wijst het dus op een slechte verbranding.



Een efficiënt verbrandingsproces zorgt normaal gezien voor een beperkte emissie van VOS.

***Persistente organische componenten, dioxines en furanen***

De meest beschouwde persistente organische componenten die worden uitgestoten bij verbranding van fossiele brandstoffen, zijn onder andere PAK's (PolyCyclische Aromatische Koolwaterstoffen), PCDD's (PolyChloorDibenzoDioxines) en PCDF's (PolyChloorDibenzoFuranen).

PCDD en PCDF moleculen zijn niet erg vluchtig en kennen een grote thermische en chemische stabiliteit wanneer geadsorbeerd op partikels. Enkel bij temperaturen boven 1000°C worden ze afgebroken.



In dit hoofdstuk lichten we de verschillende maatregelen toe die bij stookinstallaties, stationaire motoren en gasturbines geïmplementeerd kunnen worden om milieuhinder te voorkomen of te beperken. De milieuvriendelijke technieken worden besproken per milieudiscipline. Bij de bespreking komen telkens volgende punten aan bod:

- Beschrijving van de techniek;
- Toepasbaarheid van de techniek;
- Milieuvoordeel van de techniek;
- Financiële aspecten van de techniek.

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 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 met andere woorden niet per definitie dat deze techniek BBT is.

Eerst bespreken we de verschillende technische maatregelen die kunnen genomen worden ter beperking van emissies naar lucht (4.1) en ter verhoging van de energie-efficiëntie (4.2). Vervolgens (4.3) vatten we voor stookinstallaties en stationaire motoren de belangrijkste tendensen en evoluties samen, en trachten we aan te geven welke (combinaties) van technieken in de praktijk toegepast worden in nieuwe installaties, en welke prestaties (emissies en rendementen) daarbij behaald worden.



## 4.1 Emissies naar de lucht

Controle en reductie van NO<sub>x</sub>-, stof-, SO<sub>2</sub>- en CO-emissies zijn vaak noodzakelijk om aan de geldende milieuwetgeving voor stookinstallaties, stationaire motoren en gasturbines te kunnen voldoen. Beperken van de emissies kan gebeuren door vorming van de betreffende pollutanten tegen te gaan (*primaire maatregelen*). Deze kunnen zowel preventieve maatregelen zijn, die genomen worden vóór de eigenlijke verbranding, alsook procesgeïntegreerde maatregelen die de pollutantvorming tijdens het verbrandingsproces controleren. Ondanks deze maatregelen, kan het toch gebeuren dat de emissies nog te hoog zijn en moeten de gevormde emissies na de verbranding aangepakt worden met *secundaire maatregelen*. De rookgassen worden hierbij behandeld in end-of-pipe technieken om de gevormde pollutantconcentraties terug te brengen tot aanvaardbare niveaus.

Enkele van de meest gebruikte technieken voor de controle en reductie van emissies bij kleine en middele stookinstallaties, stationaire motoren en gasturbines worden hieronder verder besproken.

### 4.1.1 Preventieve maatregelen

Preventieve maatregelen om de vorming van emissies te beperken zijn meestal gericht op de gebruikte installatie en de gebruikte brandstof. Een goed doordachte keuze van installatietype voor een bepaalde brandstof kan vaak al een eerste emissiebeperkende stap zijn.

#### → Stookinstallaties

##### • Goed ketelontwerp

###### Beschrijving

De vorm of grootte van een ketel kan een belangrijke rol spelen naar emissies van bijvoorbeeld stof en NO<sub>x</sub> toe. Zo blijkt bijvoorbeeld dat de emissies van fijn stof groter zullen zijn bij kleine, horizontale installaties dan bij grote, verticale ketels. In grote verticale installaties is de kans groter dat kleine deeltjes aan elkaar gaan hechten en zo grovere stofdeeltjes vormen, die gemakkelijker af te scheiden zijn.

Viertreksketels zullen in principe lagere NO<sub>x</sub>-emissies vertonen. Een goede dimensionering is daarnaast ook van groot belang: een lagere vuurhaardbelasting<sup>8</sup> is beter in het kader van NO<sub>x</sub>-emissies (persoonlijke communicatie, Belgian Boiler Company). Kleine vuurhaardafmetingen hebben een grotere vuurhaardbelasting tot gevolg, wat leidt tot een verhoogde NO<sub>x</sub>-uitstoot (persoonlijke communicatie, Weishaupt). Te krappe vuurhaardafmetingen kunnen ook een oorzaak zijn van onvolledige verbranding. Indien de brandstof in de vlam nog niet volledig verbrand is en een relatief koud oppervlak in de vuurhaard treft, koelt de vlam af waardoor het verbrandingsproces vroegtijdig onderbroken wordt. De vlamvorm dient dan ook aan de vuurhaard aangepast te zijn, vooral met het oog op de nodige uitbrandlengte van de vlam.

###### Technische haalbaarheid

Goed ketelontwerp en dimensionering zijn in principe perfect toepasbaar in alle situaties. Voor nieuwe installaties mag dit in feite geen probleem meer vormen. Leveranciers hechten hier dan ook belang aan. Maar in de gevallen waar dimensionering en het uitschrijven van een bestek bij studiebureaus ligt, wordt soms minder aandacht besteed aan deze aspecten. Algemeen gezien is goed ketelontwerp technisch haalbaar voor elke nieuwe installatie.

<sup>8</sup> Vuurhaardbelasting is de hoeveelheid energie die per oppervlakte-eenheid wandoppervlak kan worden overgedragen.

### Milieu-impact

Een goed doordacht ketelontwerp kan tot een sterke verhoging van de efficiëntie leiden alsook emissies van bijvoorbeeld  $\text{NO}_x$ , CO en stof reduceren.

Een belangrijke randbemerking is dat de  $\text{NO}_x$ -uitstoot op een lagere belasting (bij modulerende en twee-, of drietrapsbranders) hogere waarden kan bereiken dan in vollast. Bij een te lage rookgas-snelheid verhoogt de verblijftijd in de vuurhaard wat een negatieve impact heeft op de  $\text{NO}_x$ -vorming (persoonlijke communicatie, Weishaupt).

### Economische haalbaarheid

Aangezien het hier nieuwe installaties betreft, die nog aangekocht moeten worden, is het dimensioneringsaspect vooral in handen van bijvoorbeeld studie bureaus of leveranciers. Zij bepalen doorgaans de benodigde installatie om aan de vraag en het gewenste comfort te voldoen. Voor de aankoper zijn hier geen noemenswaardige meerkosten aan verbonden.

Belangrijk in het kader van de economische haalbaarheid is ook de hogere efficiëntie van de installatie. Een hoger rendement betekent immers een lager brandstofverbruik wat leidt tot kostenbesparing tijdens de gebruiksfase.

#### • **Kiezen voor een schonere brandstof**

##### Beschrijving

Emissies van  $\text{SO}_2$  ontstaan ten gevolge van oxidatie van het in de brandstof aanwezige zwavel. Voor stofemissies geldt hoe hoger het asgehalte in de brandstof, hoe hoger de emissies zullen zijn. Ook voor  $\text{NO}_x$  blijkt dat hoe groter het N-gehalte in de brandstof is, hoe groter het aandeel fuel  $\text{NO}_x$  zal zijn.

Het is duidelijk dat de brandstofsamenstelling en –eigenschappen een belangrijke rol spelen met betrekking tot emissies. Een belangrijke preventieve maatregel is dan ook het kiezen voor een schonere brandstof.

Aardgas is een vaak gebruikt voorbeeld van ‘een schonere brandstof’: het bevat bijna geen zwavel of onbrandbare gassen en het asgehalte is zeer laag. De emissies bij het verbranden van stookolie zijn doorgaans ook vrij beperkt, hoewel hierbij het type stookolie bepalend is voor het N-, S- en asgehalte van de brandstof en aldus de gevormde emissies. Vanuit emissiestandpunt zijn kolen de minst aangewezen fossiele brandstof. Zowel naar  $\text{NO}_x$ -,  $\text{SO}_2$ - als stofemissies toe presteren deze brandstoffen doorgaans het slechtst.

Om vorming van schadelijke emissies te voorkomen is het kiezen voor een schone brandstof een eenvoudige maatregel. Zo kan men, om  $\text{SO}_2$ -emissies te beperken, bijvoorbeeld beter kiezen voor stookolie met een lager S-gehalte, bijvoorbeeld gasolie verwarming of gasolie verwarming extra (0,1% S respectievelijk 0,005 gew% S) in plaats van residuele brandstoffen (1% S).

Een ander aandachtspunt is de mate waarin de brandstofeigenschappen kunnen verschillen. Hoe homogener de brandstof en hoe constanter de kwaliteit, hoe beter de installatie afgesteld kan worden en het verbrandingsproces geoptimaliseerd. Dit probleem speelt vooral bij biomassa bijvoorbeeld, maar veel minder bij fossiele brandstoffen.

### Technische haalbaarheid

Bij bestaande installaties kan een *fuel switch* heel wat aanpassingen vragen. Bij het aankopen van een nieuwe installatie is dit niet het geval en is het vooral de beschikbaarheid van een bepaalde brandstof die de haalbaarheid beïnvloedt. Indien bijvoorbeeld geen aardgas beschikbaar is, kiest men best voor gasolie verwarming.

Uiteindelijk zijn het vooral de brandstofproducenten die invloed hebben op deze maatregel. De exploitant van de stookinstallatie kiest voor een beschikbare brandstof, maar heeft geen invloed op de kwaliteit en samenstelling ervan. Verdere ontwikkelingen om bijvoorbeeld het zwavelgehalte van stookolie verder terug te brengen liggen buiten de focus van deze studie. Wetgeving blijft hierin ook een belangrijke invloedfactor: eisen gesteld aan brandstofsamenstelling en duidelijke toepassingsmogelijkheden voor verschillende brandstoffen kunnen de keuze voor een schone brandstof stimuleren.

#### Milieu-impact

Stoken van aardgas in plaats van stookolie kan een belangrijke invloed hebben, zowel op de emissies van SO<sub>2</sub> als van stof en NO<sub>x</sub>. Hetzelfde geldt voor het stoken van stookolie in plaats van kolen.

Een verlaging van het S-gehalte van de brandstof met 0,5% geeft bijvoorbeeld een verlaging van de emissies van 1000 tot 700 mg/Nm<sup>3</sup> (6% O<sub>2</sub>), afhankelijk van de calorische waarde van de brandstof.

#### Economische haalbaarheid

In de meeste gevallen zal geopteerd worden om de goedkoopste brandstof te gebruiken. Het is dan ook het prijsverschil tussen de brandstoffen dat belangrijk is bij deze keuze, naast de beschikbaarheid van de brandstof.

Bijvoorbeeld bij de omschakeling van residuele brandstof naar gasolie verwarming of zelfs gasolie verwarming extra, zal het prijsverschil tussen de brandstoffen zodanig belangrijk zijn, dat dit een tamelijk kostelijke maatregel wordt. Een belangrijk argument dat dan weer voor een omschakeling pleit, ondanks het soms dure karakter ervan, is de eenvoud ervan om emissies te beperken.

In deze studie wordt de keuze voor een schonere brandstof verder bekeken, maar enkel binnen dezelfde groep van fossiele brandstoffen. Dit wil zeggen dat bijvoorbeeld wel gekeken wordt naar de switch tussen residuele brandstoffen en gasolie verwarming (extra), maar niet naar de switch tussen vloeibare en gasvormige brandstoffen bijvoorbeeld.

### → Stationaire motoren en gasturbines

#### • Kiezen voor een schonere brandstof

##### Beschrijving

Bij de verbranding van residuele brandstof in dieselmotoren ontstaan stofemissies welke voor het grootste deel bestaan uit assen en sulfaten ten gevolge van de brandstofsamenstelling. Een kleiner deel van de stofemissies bestaat uit roet en koolwaterstoffen. Bij gasolie verwarming is het aandeel assen en sulfaten een stuk kleiner door de 'schonere' brandstofsamenstelling. Ook naar SO<sub>2</sub> toe kan de keuze voor een brandstof met een lager zwavelgehalte al een belangrijke beperking van emissies opleveren.

Bij gasmotoren is het probleem van stof- en zwavelemisssies bijna onbestaande omwille van het zeer beperkte gehalte stofvormende elementen en zwavel in de brandstof.

##### Technische haalbaarheid

Ook hier geldt dat het voornamelijk de beschikbaarheid van de brandstof is die bepaalt of de keuze voor schonere brandstof mogelijk is.

##### Milieu-impact

Keuze van een schonere brandstof, is voornamelijk van belang voor stof- en zwavelemisssies.

### Economische haalbaarheid

In de meeste gevallen zal geopteerd worden de goedkoopste brandstof te gebruiken. Het is dan ook het prijsverschil tussen de brandstoffen dat belangrijk is bij deze keuze, naast de beschikbaarheid van de brandstof.

## 4.1.2 Procesgeïntegreerde maatregelen

### → Stookinstallaties

#### • **Optimalisatie van de verbranding**

##### Beschrijving

Om de vorming van stofemissies te beperken, dient gelet te worden op een optimale verbranding: een goed lopend verbrandingsproces zal immers minder stofemissies genereren. Hetzelfde kan ook gezegd worden voor emissies van  $\text{NO}_x$  en CO. Hoe beter de sturing van het verbrandingsproces, met de juiste hoeveelheid verbrandingslucht en brandstof op de juiste plaats in de ketel, hoe vollediger de verbranding zal zijn, hoe lager de CO-emissies en hoe meer de vlamtemperatuur binnen de perken blijft (ter controle van  $\text{NO}_x$ -vorming). Een goede sturing van de verbranding is dan ook noodzakelijk. Voor vloeibare brandstoffen geldt dat de emissies lager liggen naargelang de verstuuving van de brandstof beter verloopt.

##### Technische haalbaarheid

Verbrandingstechnologieën zijn ondertussen goed gekend en kunnen dus goed gestuurd en geoptimaliseerd worden. Alle leveranciers streven optimale verbranding na, door hiermee rekening te houden in het ontwerp/keuze van brander en ketel bijvoorbeeld. Hoe ver men gaat in toepassing van sturing, controle, ... ligt vaak in handen van de klant, maar bijna alle leveranciers bieden hiertoe mogelijkheden aan.

##### Milieu-impact

Hoe beter de uitbrand (dus hoe vollediger de verbranding) hoe minder stof en CO er geëmitteerd zullen worden. Een optimale verbranding met goede sturing van het zuurstofgehalte kan ook  $\text{NO}_x$ -emissies binnen de perken houden.

Ook naar energie-efficiëntie toe is optimalisatie van de verbranding van groot belang.

##### Economische haalbaarheid

Afhankelijk van de maatregelen die genomen worden om het verbrandingsproces zo optimaal mogelijk te laten verlopen, kunnen de kosten variëren.

Omdat optimale verbranding een belangrijke positieve invloed heeft naar energie-efficiëntie toe, treedt tijdens de gebruiksfase ook een kostenbesparing op.

#### • **In situ ontzwaveling in wervelbed**

##### Beschrijving

Aanpassingen of controle tijdens de verbranding om de emissies van  $\text{SO}_2$  te beperken, zijn niet veel voorkomend. Tijdens de verbranding kunnen ontzwavelingstechnieken wel gebruikt worden bij wervelbedverbranding, wanneer kalksteen of dolomiet wordt geïnjecteerd in het bed. Bij optimale verbrandingstemperaturen, zullen chemische reacties in het bed de  $\text{SO}_2$ -emissies significant verlagen. Het CaO uit de kalksteen of dolomiet reageert met het  $\text{SO}_2$  uit de gassen. Het met zwavel beladen sorbent wordt afgescheiden als bodemassen of verdwijnt uit het bed met de vliegassen.



### Technische haalbaarheid

De captatie van zwavel via deze methode is afhankelijk van de ratio calcium/zwavel, de verblijftijd van het gas in het wervelbed, de deeltjesgrootte, de temperatuur in het bed en de reactiviteit van het sorbent. Bij bubblingbedsystemen blijkt de efficiëntie bijvoorbeeld lager te liggen omdat de turbulentie in deze systemen lager is. Hierdoor is er minder contact tussen calcium en zwavel.

Binnen de hier beschouwde vermogensrange werden tot nu toe nog geen leveranciers van ketels op vaste fossiele brandstoffen gehoord. Toepassing van deze techniek is dan ook nog niet vermeld tijdens contacten met leveranciers.

### Milieu-impact

Dergelijke ontzwaveling kan de emissies van SO<sub>2</sub> bij gebruik van brandstoffen met een hoog S-gehalte tot 80% reduceren. De efficiëntie in bubbling bedsystemen alsook in het geval van stoken van laagzwavelige brandstoffen, ligt meestal rond 30% reductie (Goovaerts, et al., 2008).

### Economische haalbaarheid

De economische haalbaarheid wordt bijna uitsluitend bepaald door de meerkost van kalksteen/dolomiet.

- **Reductie van de piektemperatuur van de vlam**

Zoals beschreven in hoofdstuk 3, zijn er verschillende vormingsmechanismen voor NO<sub>x</sub> gekend. Door snelle menging van brandstof en verbrandingslucht tijdens de verbranding, ontstaan hoge piektemperaturen en een zuurstofoverschot in de verbrandingszone. Deze omstandigheden werken de vorming van thermische en fuel-NO<sub>x</sub> in de hand. De snelheid waarmee NO<sub>x</sub> gevormd wordt is in grote mate afhankelijk van de verbrandingstemperatuur, de verblijftijd van de rookgassen in de hoge temperatuurzone alsook van de concentratie zuurstof. Hoewel er gestreefd moet worden naar de reductie van thermische en fuel-NO<sub>x</sub>, zal de vorming ervan nooit volledig vermeden kunnen worden. Stikstof, zuurstof en hoge temperaturen maken nu eenmaal integraal deel uit van het verbrandingsproces.

Een van de principes om vorming van NO<sub>x</sub> tijdens de verbranding tegen te gaan is het reduceren van de piektemperatuur van de vlam. De basistechniek voor de verlaging van de piektemperatuur is de injectie van lucht, rookgas, water of stoom in de verbrandingszone. Dit vermindert de hoeveelheid beschikbaar zuurstof, verdunt de energie-input of zorgt voor koeling van het verbrandingsproces. Bij elk van de toegepaste methodes zal de temperatuur gereduceerd worden en de NO<sub>x</sub>-vorming beperkt.

## **c1. Water-/stoominjectie**

### Beschrijving

Een eenvoudige manier om NO<sub>x</sub>-emissies terug te dringen is de injectie van water of stoom in de verbrandingskamer. Op deze manier wordt de vlamtemperatuur verlaagd.

### Technische haalbaarheid

De injectie van water/stoom in de verbrandingskamer is een techniek die eerder op de achtergrond is geraakt. Niet alleen is er gevaar op schade aan de brander en de vuurhaard door bijvoorbeeld condensatie, maar ook het rendement van de installatie kan verminderen door toepassing van deze methode. Hoewel de methode dus wel gekend is, wordt ze meestal niet toegepast omwille van de nadelen.

Leveranciers van stoomketels geven aan dat water-/stoominjectie zelden wordt toegepast bij vlampijpketels. Meestal gebeurt dit enkel bij verbranding van residuele brandstof en meestal in combinatie met de gelijktijdige injectie van chemicaliën ter reductie van emissies (persoonlijke communicatie, BBC).

Milieu-impact

Water-/stoominjectie zorgt ervoor dat NO<sub>x</sub>-vorming beperkt wordt door het verlagen van de temperatuur. Deze maatregel kan een reductie tot 75% opleveren bij aardgasverbranding bijvoorbeeld.

Hoewel NO<sub>x</sub>-emissies verlaagd worden, is de kans op onvolledige verbranding bestaande, waardoor CO emissies hoog kunnen oplopen. Daarnaast kan water-/stoominjectie de efficiëntie van de ketel met 3-10% verlagen.

Economische haalbaarheid

Water-/stoominjectie zorgt voor een belangrijk effect op de efficiëntie van de ketel. Door een verlaging van het rendement met 3-10% zullen tijdens het gebruik extra kosten ontstaan ten gevolge van een verhoogd brandstofverbruik. Verdere meerkosten worden niet vermeld.

**c2. Rookgasrecirculatie**Beschrijving

Het recirculeren van een deel van de rookgassen terug naar de branders zal de beschikbare hoeveelheid zuurstof in de verbrandingszone verminderen. Hierdoor wordt de vlamtemperatuur verlaagd. Zowel de vorming van fuel-NO<sub>x</sub> als van thermische NO<sub>x</sub> kunnen zo verminderd worden.

Technische haalbaarheid

Rookgasrecirculatie is een goed gekende techniek, zowel de interne als externe recirculatie. Vaak wordt rookgasrecirculatie geïntegreerd in het ontwerp van de nieuwe installaties.

Leveranciers van stoomketels geven aan dat rookgasrecirculatie in 95% van de gevallen toegepast wordt, intern aan de vlamkop. Externe RGR waarbij een deel van de rookgassen aan de ingang van de schouw teruggevoerd worden en gebruikt als verbrandingslucht, werd vooral in de jaren '90 toegepast. Met de huidige stand der technieken wordt quasi nooit meer voor externe RGR geopteerd in het geval men gas of gasolie verwarming verbrandt (persoonlijke communicatie, BBC-Loos). In vergelijking met bijvoorbeeld stoominjectie, zal 4% stoominjectie evenveel NO<sub>x</sub>-reductie teweeg brengen als 9% RGR (Coen, 2003).

Milieu-impact

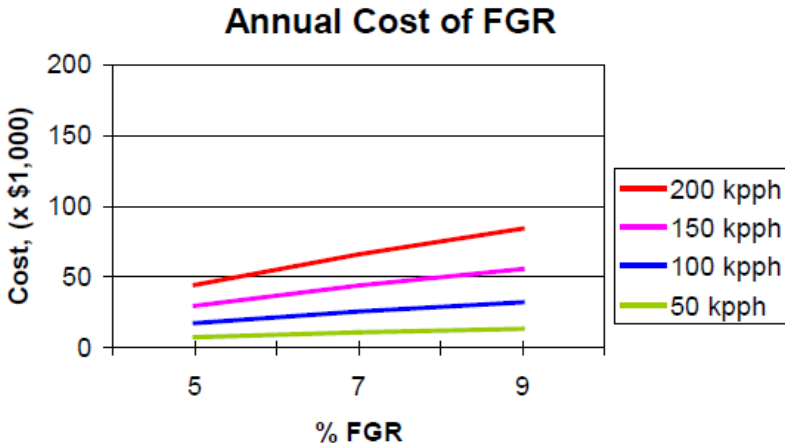
Rookgasrecirculatie kan zorgen voor een NO<sub>x</sub>-reductie van 10-25%. Ook emissies van PM kennen een kleine reductie. CO kan daarentegen stijgen omdat de concentratie zuurstof in de verbrandingskamer afneemt door de recirculatie.

Het is mogelijk dat er een kleine reductie in thermisch rendement ontstaat, maar dit is normaal niet van groot belang.

Economische haalbaarheid

Een belangrijke werkingskost bij rookgasrecirculatie is de elektriciteitskost nodig voor de ventilator die de rookgassen rondstuurt. De onderstaande figuur geeft de jaarlijkse werkingskost van RGR voor verschillende stoomketels<sup>9</sup> (verschillende vermogens) in functie van het percentage RGR.

<sup>9</sup> 1 kpph = 1000 lbs/h = ca. 0.45 ton stoom/uur.



Figuur 14: Jaarlijkse werkkost voor RGR voor verschillende stoomketels (Coen, 2003)

- **Staged combustion**

Staged combustion of getrapte verbranding steunt op de wetenschap dat heel lage hoeveelheden luchtvermaat resulteren in een lage  $\text{NO}_x$ -vorming. Door lucht en brandstof te mengen op verschillende plaatsen in de ketel, worden zones gecreëerd met hoge en lage luchtvermaat. Getrapte verbranding kan op twee manieren worden uitgevoerd, namelijk door 'air staging', of getrapte verbrandingslucht, of 'fuel staging', of getrapte brandstoftoevoer.

#### **d1. Getrapte verbrandingslucht (air staging)**

##### Beschrijving

$\text{NO}_x$ -reductie door getrapte verbrandingslucht is gebaseerd op de vorming van twee gescheiden verbrandingszones:

- een primaire verbrandingszone waar een tekort aan zuurstof heerst;
- een secundaire verbrandingszone waar een overmaat aan zuurstof heerst om volledige verbranding te verzekeren.

In de primaire verbrandingszone wordt de hoeveelheid beschikbare zuurstof dus gereduceerd (primaire lucht 70-80%). Deze sub-stoichiometrische conditie in de primaire zone onderdrukt de omzetting van brandstofgebonden stikstof. Daarnaast zorgt het brandstofrijke mengsel ook voor een lage vlamtemperatuur waardoor de vorming van thermische  $\text{NO}_x$  beperkt blijft. In de secundaire zone worden dan de verbrandingsproducten van de eerste zone gemengd met bijkomende lucht. Deze 10-30% verbrandingslucht wordt geïnjecteerd boven de verbrandingszone en zorgt voor een verhoogd vlamvolume. Dankzij deze secundaire luchttoevoer wordt de verbranding vervolledigd bij een vrij lage temperatuur, wat de vorming van  $\text{NO}_x$  opnieuw beperkt.

Air staging kan op verschillende manieren nagestreefd worden, afhankelijk van de grootte van de installatie bijvoorbeeld. In de meeste gevallen wordt echter gebruik gemaakt van 'overfire air' (OFA). Bij OFA worden luchtopeningen geïnstalleerd boven de bestaande branders. De branders werken in dit geval met een lage luchtvermaat waardoor  $\text{NO}_x$ -vorming wordt beperkt. De OFA openingen injecteren dan de lucht nodig om de verbranding te vervolledigen. Ongeveer 15-30% van de lucht die normaal via de branders passeert wordt hierbij via de OFA poorten in de verbrandingskamer gebracht. In de kleinere

installaties wordt deze techniek voor getrapte verbrandingslucht doorgaans geïncorporeerd in een lage  $\text{NO}_x$ -brander (zie e. Low $\text{NO}_x$  brander).

#### Technische haalbaarheid

Overfire air is al geruime tijd standaard in verbrandingsinstallaties. Het toevoegen van verbrandingslucht in meerdere zones wordt in nieuwe installaties standaard in de structuur ingepast. In vele gevallen wordt ook de combinatie gemaakt tussen getrapte verbrandingslucht en rookgasrecirculatie om  $\text{NO}_x$ -emissies zoveel mogelijk te beperken.

#### Milieu-impact

Getrapte verbrandingslucht kan zorgen voor een  $\text{NO}_x$ -reductie tot 50% voor aardgas en tot 20% voor stookolie. (Oland, 2002) Naast de verlaging van  $\text{NO}_x$ -emissies zal ook het rendement verhoogd worden.

Een belangrijk aandachtspunt is opnieuw de emissie van CO en onverbranden. Door de luchtvermaat te regelen kan, vooral bij slechte plaatsing van de luchtopeningen, het risico op onvolledige verbranding groter worden.

#### Economische haalbaarheid

Omdat het om een standaardtechniek gaat, worden geen meerkosten gekoppeld aan de toepassing van air staging. Door het verhoogde rendement kan tijdens het gebruik wel een kostenbesparing optreden door het verminderde brandstofverbruik.

### **d2. Getrapte brandstof toevoer (reburning)**

#### Beschrijving

Bij getrapte brandstof toevoer of reburning (fuel staging) ontstaan drie zones in de brander:

- een primaire verbrandingszone waar 85-90% van de brandstof wordt verbrand, meestal in lage luchtvermaat (Low Excess Air = LEA) omstandigheden. Onder deze omstandigheden wordt  $\text{NO}_x$  gevormd;
- een tweede, 'reburn'-zone, waar de secundaire brandstof wordt geïnjecteerd. Onder deze reducerende omstandigheden wordt de secundaire brandstof omgezet in koolwaterstofradicalen welke reageren met de  $\text{NO}_x$  uit de primaire zone. Naast de omzetting van  $\text{NO}_x$  tot  $\text{N}_2$ , kunnen ook minder gewenste elementen, zoals ammoniak, gevormd worden;
- een derde, 'burnout'-zone, waar de verbrandingsproducten bij een luchtvermaat verdere verbranding ondergaan. Op deze manier worden de gevormde CO en onverbrande koolwaterstoffen uit de reburnzone volledig verbrand.

De reburning brandstof in de tweede zone kan zowel gemalen kool, stookolie als aardgas zijn, maar doorgaans wordt hier de voorkeur gegeven aan aardgas. Deze brandstof bevat immers het minste stikstof waardoor er zo min mogelijk aanleiding gegeven wordt tot nieuwe vorming van  $\text{NO}_x$  in de burnout zone.

#### Technische haalbaarheid

Deze techniek kent ondertussen wel enige toepassing in stookinstallaties op fossiele brandstoffen, vooral in grotere installaties. Echt veel ervaring blijkt er bij de gecontacteerde leveranciers in de beschouwde vermogensrange niet te zijn met deze techniek: enkel in de literatuur werd reburning vermeld als toegepaste techniek bij kleine en middelgrote stookinstallaties. Deze techniek wordt dan ook niet verder beschouwd bij kostenberekeningen.

### Milieuvoordeel

Reburning voorkomt de vorming van  $\text{NO}_x$  en zet gevormde  $\text{NO}_x$  om tot  $\text{N}_2$ . Getrapte brandstoftoevoer kan een reductie van 50-60% opleveren, zelfs met poederkool of olie in plaats van gas als reburn brandstof (Clean Coal Technology, 1999).

### Economische haalbaarheid

De implementatie van deze techniek is vrij duur en vereist een heel specifiek ontwerp van de verbrandingskamer om de verschillende zones te creëren. Concrete kostprijsgegevens ontbreken welliswaar omwille van de beperkte praktische toepassing bij gecontacteerde leveranciers.

- **Low $\text{NO}_x$  brander**

#### Beschrijving

Low $\text{NO}_x$ -branders (LNB) zijn branders speciaal ontworpen om  $\text{NO}_x$ -vorming te reduceren door een goed gecontroleerde brandstof-lucht verhouding te verzekeren tijdens de verbranding. De strategie om emissies te beperken is het reduceren van de beschikbare hoeveelheid zuurstof en het verlagen van de vlamtemperatuur, zoals in de hierboven beschreven technieken. Doorgaans worden de LNB dan ook uitgevoerd met de hiervoor beschikbare technieken, zoals getrapte verbrandingslucht, getrapte brandstoftoevoer of rookgasrecirculatie. LNB vertragen op deze manier de vorming van brandstofgebonden  $\text{NO}_x$  en thermische  $\text{NO}_x$ , zonder de verbrandingsefficiëntie van de installatie te verminderen.

De lucht en de brandstof worden zo gemengd dat er een grotere en uitgebreidere vlam ontstaat. Door deze uitgebreide vlamstructuur is er minder zuurstof beschikbaar in de hete delen van de vlam. Dit resulteert dus in minder hoge piektemperaturen en beperkt zo de  $\text{NO}_x$ -vorming.

#### Technische haalbaarheid

Low $\text{NO}_x$ -branders zijn al enkele jaren opgenomen in het basisaanbod van de meeste leveranciers voor nieuwe installaties gestookt met fossiele brandstoffen. De techniek van de branders is echter nog sterk geëvolueerd. Het is dus wel belangrijk een onderscheid te maken tussen de gehanteerde techniek en generatie van de brander aangezien deze ook bepalend is voor de emissiereductie en kosten.

#### Milieuvoordeel

Met de recente low $\text{NO}_x$ -branders die vandaag de dag vaak worden gebruikt, kunnen volgende  $\text{NO}_x$ -waarden (3%  $\text{O}_2$ ) gegarandeerd worden:

- Gas: 80-100 mg/Nm<sup>3</sup>
- Gasolie verwarming: 185-210 mg/Nm<sup>3</sup> tot ongeveer 5 MW, 210-250 mg/Nm<sup>3</sup> tussen 5 en 50 MW
- Residuele brandstof: 525 mg/Nm<sup>3</sup>

(*leveranciersinformatie en Derden A. et al, 2005*).

Met de nieuwste generatie low $\text{NO}_x$ -branders zijn echter nog lagere waarden haalbaar, bijvoorbeeld voor gas tot 70 mg/Nm<sup>3</sup>. Deze waarden zijn enkel haalbaar onder bepaalde voorwaarden van ketelontwerp (drietreksketel en lage vuurhaardbelasting) en mediumtemperaturen < 130°C. Voor hogere mediumtemperaturen (bv. thermische olietkeltels) zijn deze grenswaarden al moeilijker te garanderen (persoonlijke communicatie, Weishaupt).

Bepaalde leveranciers garanderen deze waarden als haalbare emissiewaarden naar hun klanten toe.

Economische haalbaarheid

De basis lowNO<sub>x</sub>-branders worden bij bijna alle leveranciers aangeboden. De verschillende leveranciers vertonen vaak ook een heel verschillend gamma: enkelen onder hen bieden gewone (niet-lowNO<sub>x</sub>) branders aan alsook een basisversie van de lowNO<sub>x</sub>-branders. Anderen gaan in hun gamma dan weer veel verder en bieden ook de nieuwste generatie lowNO<sub>x</sub>-branders aan. Er bestaat wel een verschil in kosten tussen deze verschillende types branders, maar deze zijn doorgaans niet van doorslaggevende aard en worden dus niet specifiek in rekening gebracht bij verdere kostenberekeningen.

→ **Stationaire motoren**• **Motoraanpassingen**Beschrijving

Belangrijke motoraanpassingen of een goed doordacht ontwerp kunnen een grote invloed hebben op emissies van (diesel)motoren. Het optimaliseren van de vorm van de verbrandingskamer, een hoge compressieverhouding, een verfijnd brandstofinjectiesysteem en aangepast profiel van de nokken op de nokkenas, een geoptimaliseerd turboladersysteem voor een correcte luchtvermaat en een interne koeling van de cilinders door vervroegde sluiting van de luchtinlaatkleppen (Miller cyclus). Deze maatregelen zorgen immers voor een beperking van de druk en temperaturen in de motoren, welke aanleiding geven tot lagere NO<sub>x</sub>-emissies.

Technische haalbaarheid

Dergelijke aanpassingen aan het motorontwerp zijn ondertussen goed gekend. De nieuwe motoren op de markt zijn dan ook allemaal zo ontworpen om deze maatregelen te implementeren en NO<sub>x</sub>-emissies beperkt te houden (persoonlijke communicatie, Dresser-Waukesha).

Milieuvoordeel

Door het toepassen van bijvoorbeeld het Miller concept worden emissies van NO<sub>x</sub> gereduceerd, maar kan ook de efficiëntie van de motor (en dus ook de totale uitstoot van bijvoorbeeld CO<sub>2</sub>) verbeterd worden. De emissies van NO<sub>x</sub> kunnen met 20% reduceren door een welbedoordacht motorontwerp.

Economische haalbaarheid

Eventuele meerkosten zitten vervat in de investeringskost van de nieuwe motor.

• **Water-/stoominjectie**Beschrijving

Directe water- of stoominjectie in de verbrandingskamer is een primaire maatregel die voornamelijk bij scheepsmotoren wordt toegepast. Dankzij de waterinjectie zal de temperatuur verlagen waardoor de NO<sub>x</sub>-vorming beperkt blijft. Naast waterinjectie kan injectie van vochtige lucht of stoom worden toegepast. Bij deze techniek wordt stoom in de cilinder geïnjecteerd met opnieuw het doel de verbrandingstemperatuur te verlagen.

Technische haalbaarheid

Directe water- of stoominjectie is een maatregel die bijna uitsluitend in scheepsmotoren wordt toegepast. De methode vraagt een grote aanpassing aan de motor, omwille van het bijkomend systeem voor waterinjectie en controle. Corrosie aan cilinders kan voorkomen, waardoor ook het onderhoud aan de installatie toeneemt (en dan ook de kosten).

Milieuvoordeel

Toevoeging van water of stoom in de verbrandingskamer kan de emissies van  $\text{NO}_x$  met 10 tot 60% reduceren (Wärtsila, 2010).

Economische haalbaarheid

Net zoals bij stookinstallaties zorgt water-/stoominjectie voor een verhoogd brandstofverbruik.

- **Injectie water/brandstofemulsie**

Beschrijving

In plaats van directe injectie van water of stoom in de verbrandingskamer, kan gekozen worden voor de injectie van een water/brandstofemulsie. Door water toe te voegen aan de brandstof en dit mengsel in emulsie in de verbrandingskamer te brengen wordt  $\text{NO}_x$ -reductie nagestreefd. Het inerte gaseffect van het water in de verbrandingskamer zal de temperatuur immers verlagen wat verlaagde  $\text{NO}_x$ -vorming tot gevolg heeft.

Technische haalbaarheid

$\text{NO}_x$ -emissies kunnen door injectie van deze emulsie beperkt worden zonder al te grote aanpassingen aan de motor. Een belangrijk nadeel is wel dat het brandstofverbruik toeneemt: dit kan oplopen tot 1% per 10% waterinjectie.

Milieuvoordeel

Injectie van een water/brandstofemulsie kan  $\text{NO}_x$ -emissies tot 80% verminderen (Canfield, 1999).

Economische haalbaarheid

Door het hogere brandstofverbruik, zullen de kosten tijdens het gebruik van de motor met injectie van water/brandstofemulsie stijgen.

- **Lean burn (met oxidatiekatalysator)**

Beschrijving

Zoals vermeld is de voornaamste parameter in de vorming van  $\text{NO}_x$ , de verbrandingstemperatuur: hoe hoger de temperatuur, hoe hoger het  $\text{NO}_x$ -gehalte in de rookgassen. De verhouding lucht/brandstof verlagen is een mogelijke methode om de verbrandingstemperatuur te verlagen.  $\text{NO}_x$  wordt bij gasmotoren voornamelijk verminderd door toepassing van dit 'lean burn' of arm-mengsel principe.

Technische haalbaarheid

Lean burn wordt als standaard beschouwd in gasmotoren. Het probleem bij het inzetten van deze maatregel is het negatieve effect ervan op het rendement van de motor. Het verlaagde rendement is voornamelijk te wijten aan een verhoogde uitstoot van onverbrande koolwaterstoffen.

Milieuvoordeel

Lean burn geeft zeer goede resultaten naar  $\text{NO}_x$  toe: 500 mg  $\text{NO}_x/\text{Nm}^3$  (5%  $\text{O}_2$ ) is goed haalbaar. Ook 250 mg  $\text{NO}_x/\text{Nm}^3$  is haalbaar, maar gaat ten koste van het rendement (1 tot 3%). (persoonlijke communicatie, Dresser Waukesha)

$\text{CO}$  emissies kunnen bij toepassing van lean burn een probleem vormen. Daarom worden gasmotoren vaak ook nog voorzien van een oxidatiekatalysator.

Ver doorgedreven lean burn kan een toename van CH<sub>4</sub>-leakage veroorzaken. Methaan is een broeikasgas en kan op die manier, bij WKK-toepassingen, deels de 'klimaatwinst' van WKK-gasmotoren teniet doen.

#### Economische haalbaarheid

Omdat lean burn als standaardtechnologie beschouwd wordt, wordt hiervoor geen meerprijs bekeken. De financiële impact van deze maatregel zal vooral bepaald worden door het eventuele rendementsverlies en de (beperkte) kostprijs van oxidatiekatalysatoren.

### **Gasturbines**

- **Dry low NO<sub>x</sub>**

#### Beschrijving

Dry Low NO<sub>x</sub> of DLN werd eerst voornamelijk toegepast op grote gasturbines, maar vindt steeds meer toepassing op kleinere installaties. Bij DLN-branders wordt de brandstof met lucht gemengd om in een volgende stap dit mengsel te ontbranden. Door deze aparte menging wordt een homogeen brandstofmengsel bekomen wat resulteert in een homogene temperatuurverdeling en een lagere vlamtemperatuur.

#### Technische haalbaarheid

DLN wordt als de standaardtechnologie beschouwd voor gasgestookte gasturbines.

#### Milieuvoordeel

Door toepassing van DLN zijn erg lage NO<sub>x</sub>-waarden haalbaar, namelijk <80 mg/Nm<sup>3</sup> (15% O<sub>2</sub>) voor aardgasgestookte gasturbines. Voor heel grote installaties blijken waarden van 20-35 mg/Nm<sup>3</sup> haalbaar, wat voor kleinere gasturbines momenteel nog niet het geval is. (Goovaerts, et al., 2008)

#### Economische haalbaarheid

Omdat DLN als standaardtechnologie wordt beschouwd, is hier geen echte meerkost aan verbonden bij aankoop van een nieuwe gasturbine.

- **Water-/stoominjectie**

#### Beschrijving

Directe water-/stoominjectie zorgt voor een gereduceerde piektemperatuur in de vlamzone waardoor NO<sub>x</sub>-vorming vermindert.

#### Technische haalbaarheid

Directe water-/stoominjectie is een vrij goed gekende technologie bij gasturbines, maar wordt niet overal toegepast. Meestal wordt de techniek echter niet toegepast in nieuwe installaties omwille van het goed werkende DLN principe (standaardtechnologie).

#### Milieuvoordeel

De injectie van water of stoom kan emissies terugbrengen tot 80-240 mg/Nm<sup>3</sup> (Goovaerts, et al., 2008).

Een belangrijk cross-media effect is het verhoogde brandstofverbruik dat hiermee gepaard gaat. Daarnaast is het ook mogelijk dat emissies van CO en onverbrande koolwaterstoffen toenemen.



### Economische haalbaarheid

Door het verhoogde brandstofverbruik ten gevolge van water-/stoominjectie, zullen de kosten tijdens het gebruik van de installatie oplopen.

- **Katalytische verbranding**

#### Beschrijving

Bij katalytische verbranding wordt het verbrandingsproces ondersteund door een katalysator zodat de oxidatiereactie kan gebeuren met een lagere activeringsenergie (vlamloze verbranding). De verbrandingstemperatuur wordt hierdoor gedrukt, met lage emissies van NO<sub>x</sub> tot gevolg. Katalytische verbranding vindt plaats bij een temperatuur die hoog genoeg is voor een goed rendement van de turbine, maar aanzienlijk hoger dan de temperatuur bij toepassing van DLN bijvoorbeeld. Hierdoor wordt er nog nauwelijks NO<sub>x</sub> gevormd.

#### Technische haalbaarheid

De meest recente (literatuur)informatie in verband met deze techniek dateert van 2000-2001. Huidige toepassingen binnen de hier beschouwde vermogensrange werden niet gerapporteerd. Het blijft dus twijfelachtig hoe ver deze techniek anno 2011 staat en of die effectief wordt toegepast. Verdere bespreking en berekeningen worden dan ook niet uitgevoerd.

#### Milieuvoordeel

Studies naar toepassing van katalytische verbranding geven NO<sub>x</sub>-emissies van minder dan 2,5 ppm (ca. 5 mg/Nm<sup>3</sup>) bij 15% O<sub>2</sub>.

#### Economische haalbaarheid

Zoals ook bij technische haalbaarheid al werd aangehaald, zijn praktische toepassingen in Vlaanderen of de ons omringende landen niet gekend. Verdere kostprijgegevens werden dan ook niet teruggevonden.

### 4.1.3 End of pipe technieken<sup>10</sup>

Uit gesprekken met leveranciers blijkt dat end-of-pipe technieken zelden of nooit toegepast worden bij installaties van 300 kW<sub>th</sub> – 50 MW<sub>th</sub>.

Om NO<sub>x</sub>-emissies terug te brengen tot aanvaardbare niveaus geven de meeste leveranciers de voorkeur aan primaire maatregelen. Vaak is de mogelijkheid er eventueel wel (zeker bij de grotere vermogens) om technieken zoals SCR of SNCR te plaatsen, maar wordt dit gewoon niet gedaan: men kan de emissies voldoende reduceren met primaire maatregelen.

Voor SO<sub>2</sub>-emissies beschouwt men voornamelijk de keuze van de brandstof als belangrijkste maatregelen. Verdere reductiemaatregelen worden door geen enkele leverancier vermeld als toegepast of in het gamma.

Voor wat betreft emissies van stof, werd (zoals reeds vermeld) geen concrete informatie verzameld: geen van de tot hier toe gecontacteerde leveranciers verkoopt installaties op kolen. Leveranciers van installaties op hout bijvoorbeeld gaven wel aan dat zij gebruik maken van stofreducerende maatregelen, weliswaar vooral bij de middelgrote installaties. Details bij de beschrijving van deze installaties gelden dan ook voornamelijk voor haalbare stofniveaus bij verbranding van hout, maar kunnen vaak doorgetrokken worden voor kolen.

<sup>10</sup> Zie de opmerking van Essenscia in bijlage 5

Momenteel staat bij elk van de technieken de link (indien beschikbaar) naar de EMIS-website, waar algemene technische fiches terug te vinden zijn.

## → Stookinstallaties

### • (Multi)cycloon<sup>11</sup>

#### Beschrijving

Een cycloon of mechanische ontstoffer verwijdert stofdeeltjes doordat ze door de centrifugaalkracht naar de buitenkant worden geslingerd. De deeltjes worden, als gevolg van hun massa, naar de wand verplaatst en accumuleren daar. Onder invloed van de zwaartekracht zakken de deeltjes naar de onderkant van de cycloon en verlaten de installatie langs de aan de onderzijde gesitueerde ontvangstruimte.

#### Technische haalbaarheid

Cyclonen zijn toe te passen bij alle vermogens installaties gestookt met vaste (kolen of biomassa) of vloeibare brandstoffen. Cycloontechnologie is voornamelijk effectief bij grotere deeltjesdiameter: een richtgetal voor de efficiëntie is 90% bij een diameter van 10 µm. meestal zal de techniek worden toegepast als voorbehandeling om de grootste stofbelasting weg te nemen, voor een tweede ontstof-fingsinstallatie.

Cyclonen worden het meest teruggevonden bij installaties met een vermogen van 0,1 tot 5 MW<sub>th</sub>.

#### Milieuvoordeel

Het rendement van een cycloon is afhankelijk van het aanbod aan stof (rookgasbelasting) en de constante rookgascondities nodig voor een goede verwijdering. Een rendement van 80-90% is haalbaar met restemissies van 100 - 150 mg/Nm<sup>3</sup> (11% O<sub>2</sub>) voor brandstoffen met een laag asgehalte (persoonlijke communicatie). Meestal wordt een rendement van 50% gemiddeld vooropgesteld.

#### Economische haalbaarheid

Een voordeel van een multicycloon is de vrij lage aanschaf- en bedrijfskost.

Een overzicht van de verschillende kostprijsgegevens wordt weergegeven in de tabel.

<b>Investeringskost</b> (€/1000 m <sup>3</sup> /h)	<b>Operationele kost</b> (€/1000 m <sup>3</sup> /h)	<b>Energieverbruik</b> kWh/1000 m <sup>3</sup> /h	<b>Opmerking</b>	<b>Bron</b>
500–1500	0,05–0,2	0,5		Goovaerts et al, 2008
1200	/	0,25 – 1,5		Infomil
4600–7400 \$ <sub>2002</sub> / (m <sup>3</sup> /s) =4635,7-7457,4 €/ (m <sup>3</sup> /s) =1,3-2,1 €/(m <sup>3</sup> /h)	1500–18000 \$ <sub>2002</sub> / (m <sup>3</sup> /s) =1511,6-18139,7 €/ (m <sup>3</sup> /s) =0,4-5 €/(m <sup>3</sup> /h)	/	Uitgedrukt in dollars @ 2002: 1 \$ = 1,00776 €	Epa.gov - factsheets

<sup>11</sup> <http://www.emis.vito.be/techniefiche/cycloon>

<sup>12</sup> Investeringskost uitgedrukt in functie van het rookgasdebiet. Dit zorgt ervoor dat de kost van de techniek relatief gezien even duur is onafhankelijk van het vermogen van de installatie. Dit lijkt tegenstrijdig met wat tijdens gesprekken met fabrikanten en leveranciers wordt vermeld.

- **Doekenfilter**<sup>13</sup>

Beschrijving

Doekenfilters of mouwenfilters zijn erg effectieve technieken voor de ontstopping van rookgassen. De afscheiding van de stofdeeltjes gebeurt wanneer de rookgassen doorheen het poreuze filtermateriaal gaan. De stofdeeltjes accumuleren op het filteroppervlak en vormen een soort stofkoek: eens gevormd is het deze koek die voor de filtering zorgt. De ontstopping die plaatsvindt eens de stofkoek is gevormd, is effectiever dan wanneer filtering enkel door het doekenmateriaal gebeurt.

Technische haalbaarheid

Doekenfilters werken zowel voor grove als fijne stofdeeltjes (< 1 µm). In principe kan het systeem bij alle typen verbrandingssystemen worden toegepast, maar er dient rekening gehouden te worden met de maximale rookgastemperatuur (afhankelijk van het doekenmateriaal). Er moet altijd een vonkvanger voor de doekenfilter geplaatst worden om brandgevaar te verminderen.

Na ongeveer 2 à 3 jaar moet het filtermedium vervangen worden.

Milieuvoordeel

Doekenfilters hebben een hoog verwijderingsrendement van 98-99,9% en kunnen de restemissies beperken (optimale omstandigheden) tot < 10 mg/Nm<sup>3</sup> en zelfs < 5 mg/Nm<sup>3</sup> (persoonlijke communicatie). De restemissie is hierbij onafhankelijk van de inkomende concentratie.

Economische haalbaarheid

Het investeringsniveau van dit soort filters (gemonteerd en opgeleverd) bedraagt al gauw €100.000 en kan oplopen tot €250000 bij grotere installaties ca. 5 MW<sub>th</sub> (persoonlijke communicatie, Kara Energy Systems).

Verdere kostprijsinformatie wordt gegeven in onderstaande tabel.

<b>Investeringskost</b> (€/1000 m <sup>3</sup> /h)	<b>Operationele kost</b> (€/1000 m <sup>3</sup> /h)	<b>Energie</b> kWh/1000 m <sup>3</sup> /h	<b>Opmerking</b>	<b>Bron</b>
1000-13000	200–1500  Hulpstof: 100		Kostprijs verschilt afhankelijk van rookgasdebit.	Emis
1660-5420	200-1500	/		Infomil
4000-50000	3000-16000	/	0,2-2	Goovaerts et al, 2008

Novem (2000) vermeldt voor een installatie van 1 MW met een flow van 1900 Nm<sup>3</sup>/h een investeringskost van €150000. Block Dias vermeldt voor een installatie van 1 MW een investeringskost van €60 000 (2011), wat overeenkomt met 46 000 €/1000 m<sup>3</sup>/h.

Overige werkingskosten zijn personeel, onderhoud en afvoer van de vliegassen. De voornaamste werkingskost is de vervanging van de filterdoeken (om de 2 à 3 jaar) (Goovaerts, et al., 2008).

<sup>13</sup> <http://www.emis.vito.be/techniefiche/doekenfilter>

<sup>14</sup> Investeringskost uitgedrukt in functie van het rookgasdebit. Dit zorgt ervoor dat de kost van de techniek relatief gezien even duur is onafhankelijk van het vermogen van de installatie. Dit lijkt tegenstrijdig met wat tijdens gesprekken met fabrikanten en leveranciers wordt vermeld.

- **ESP<sup>15</sup>**

### Beschrijving

Verwijderen van stof uit de rookgassen kan gebeuren door de partikels een elektrostatische lading te geven in een zogenaamde ESP. De negatieve lading van de deeltjes zorgt ervoor dat ze tegen de positieve elektrodeplaat zullen accumuleren. De zo opgebouwde laag stofdeeltjes moet periodiek worden verwijderd van de platen en uit de installatie afgevoerd.

Het onderscheid tussen *natte* en *droge* ESP berust op het feit dat de natte ESP ook bij wateroplosbare aërosolen een hoog rendement kan halen. Hiervoor wordt de aangevoerde lucht in een voorafgaande stap verzadigd met waterdamp en wordt het gevangen stof verwijderd met een sproeivloeistof.

### Technische haalbaarheid

ESP kent vooral toepassingen bij de middelgrote en grote stookinstallaties. Zowel grof stof als kleine stofdeeltjes kunnen met ESP afgevangen worden. Met natte filters worden ook de zeer kleine stofpartikels verwijderd.

In vergelijking met doekenfilters kunnen ESP wel met hoge afgastemperaturen worden gebruikt, waardoor zowel gebruik als onderhoud geringer is. Daarnaast worden ze ook gekenmerkt door lage drukverliezen. Belangrijk blijft wel dat de stofpartikels goed ioniseerbaar moeten zijn: bepaalde stofpartikels zullen dus minder in aanmerking komen voor afscheiding met ESP (bv. van stroverbranding).

### Milieuvoordeel

Elektrostatische filters hebben een hoog afscheidingsrendement (> 95-99%), maar de restemissie is hierbij afhankelijk van de rookgasbelasting en de stoffeigenschappen. Restemissies van 10-50 mg/Nm<sup>3</sup> worden haalbaar geacht.

### Economische haalbaarheid

Elektrostatische filters worden goedkoper naarmate de eisen milder gesteld worden en ze bijvoorbeeld worden uitgerust met een voorafscheider (multicycloon). Net zoals bij doekenfilters ligt het investeringsniveau van dit soort filters al snel rond €100.000 en tot €250.000 bij installaties van 5 MW<sub>th</sub> (persoonlijke communicatie). Overige gevonden kostprijzen worden gegeven in volgende tabel.

<sup>15</sup> <http://www.emis.vito.be/techniekfiche/droge-elektrofilter> <http://www.emis.vito.be/techniekfiche/natte-elektrofilter>

Investeringskost <sup>16</sup> (€/1000 m <sup>3</sup> /h)	Operationele kost (€/1000 m <sup>3</sup> /h)	Energie kWh/1000 m <sup>3</sup> /h	Opmerking	Bron
Droog: 10000-20000 Vb. Debiet=60 000 m <sup>3</sup> /u → 1800000 EUR Nat: 60000-300000	0,05-0,1	/	Kostprijzen gelden voor installaties met een rookgasdebiet tussen 30000 en 200000 Nm <sup>3</sup> /u. Operationele kosten gelden voor debiet > 50000 Nm <sup>3</sup> /u.	Emis
Droog: 10000-30000 Nat: 60000-300000	0,05-0,1	0,2-1	Kostprijzen gelden voor installaties met een rookgasdebiet tussen 30000 en 200000 Nm <sup>3</sup> /u. Operationele kosten gelden voor debiet > 50000 Nm <sup>3</sup> /u.	Infomil
Droog: 1 MW <sub>th</sub> : 150000€ 3 MW <sub>th</sub> : 280000€	1500-25000	0,2-0,3	Kostprijs voor een natte ESP is al snel het drievoud van een droge ESP.	Goovaerts et al, 2008
14 €/kW <sub>th</sub> voor installaties 5-50 MW <sub>th</sub>  85 €/kW <sub>th</sub> voor installaties < 5 MW <sub>th</sub>				Karvosenoja et al, 2007

De energiekost is voornamelijk te wijten aan het opwekken van het elektrisch veld. (Goovaerts, et al., 2008)

- **Stofwasser**

- Beschrijving*

Stof kan ook verwijderd worden uit de rookgassen door intensieve menging met water. Dit kan met verschillende technieken gebeuren.

In een venturiwasser<sup>17</sup> worden de beladen rookgassen door een venturi-opening gestuurd, waardoor de snelheid van de rookgassen sterk toeneemt. Bij de uitgang van de venturi worden de afgassen in contact gebracht met vloeistof en intensief gemengd. Door de hoge snelheid van het gas en de vloeistof valt de vloeistof in druppeltjes uiteen.

<sup>16</sup> Investeringskost uitgedrukt in functie van het rookgasdebiet. Dit zorgt ervoor dat de kost van de techniek relatief gezien even duur is onafhankelijk van het vermogen van de installatie. Dit lijkt tegenstrijdig met wat tijdens gesprekken met fabrikanten en leveranciers wordt vermeld.

<sup>17</sup> <http://www.emis.vito.be/techniefiche/venturiwasser> <http://www.emis.vito.be/techniefiche/rotatiewasser>

In een rotatiewasser wordt de wasvloeistof door een sneldraaiende verstuiverschijf of roterende sproei-ers in kleine druppels uiteengeslagen of verdeeld. Hierdoor ontstaat een groot contactoppervlak tussen druppels en gas. Het gas wordt tangentieel in de kamer geleid, door centrifugaalkrachten en roterende verstuiwing worden stofdeeltjes naar de wand van de wasser gesleurd.

#### Technische haalbaarheid

Stofwassers worden niet veel meer gebruikt en zeker niet bij kleinere vermogens. De ervaring van leveranciers geeft aan dat er veel nadelen verbonden zijn met dergelijke stofwassers, zoals condenspluimen, het hoge waterverbruik en storingen. Toepassing op kleine en middelgrote stookinstallaties lijkt dan ook niet onmiddellijk denkbaar (persoonlijke communicatie, Kara Energy Systems). Meestal vindt de techniek pas toepassing bij installaties met een capaciteit groter dan 4 MW<sub>th</sub>.

#### Milieuvoordeel

Venturiwassers hebben een hoog rendement (70-99%) afhankelijk van de deeltjesgrootteverdeling. Rotatiewassers kunnen afhankelijk van de uitvoeringsvorm rendementen tot 99% behalen. Leveranciers garanderen minimaal 25 à 50 mg/Nm<sup>3</sup> als restemissies (persoonlijke communicatie, Kara Energy Systems).

#### Econoische haalbaarheid

Een overzicht van de kostprijzen uit de literatuur is terug te vinden in volgende tabel.

<b>Investeringskost<sup>18</sup></b> <b>(€/1000 m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Operationele kost</b> <b>(€/1000 m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Energie</b> <b>kWh/1000 m<sup>3</sup>/h</b>	<b>Opmerking</b>	<b>Bron</b>
			\$3000 - \$172000 jaarlijkse kost per 1000 m <sup>3</sup> /sec	Federal Remedia- tion Technologies Roundtable (FRTR)
5000	5000-50000	0,5		Infomil
5300-45000 \$ <sub>2002</sub> / (m <sup>3</sup> /sec) =5341-45349 €/(m <sup>3</sup> / sec) =1509 – 12597 €/1000(m <sup>3</sup> /h)	9300-254000 \$ <sub>2002</sub> / (m <sup>3</sup> /sec) =9372-255971 €/ (m <sup>3</sup> /sec) =2603-71103 €/1000 (m <sup>3</sup> /h)	/	Uitgedrukt in dollars @ 2002: 1 \$ = 1,00776 €	EPA.gov - factsheets
50000 EUR voor 1000 Nm <sup>3</sup> /h Opschalingsfactor 0,3 voor grotere capaciteiten	0,4		Berekend o.b.v. formule EMIS en trendlijn voor waarden kleiner dan 7,5 MW (±10000 Nm <sup>3</sup> /h).	EMIS

<sup>18</sup> Investeringskost uitgedrukt in functie van het rookgasdebiet. Dit zorgt ervoor dat de kost van de techniek relatief gezien even duur is onafhankelijk van het vermogen van de installatie. Dit lijkt tegenstrijdig met wat tijdens gesprekken met fabrikanten en leveranciers wordt vermeld.

- **SNCR<sup>19</sup>**

*Beschrijving*

Bij SNCR wordt een reducerend reagens geïnjecteerd, zoals ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) of ureum ( $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ ) om  $\text{NO}_x$  om te zetten in stikstofgas en waterdamp. Het reagens wordt geïnjecteerd in de rookgassen en dit bij een specifieke temperatuurzone, optimaal 930 – 980°C.

*Technische haalbaarheid*

SNCR is in de praktijk meestal beperkt toegepast bij middelgrote en grote installaties waar het temperatuurinterval kan worden gegarandeerd. Bij kleine installaties kan SNCR worden toegepast, maar zullen zelden de optimale omstandigheden heersen.

*Milieuvoordeel*

SNCR reduceert  $\text{NO}_x$ -emissies, maar kan aanleiding geven tot verhoogde  $\text{NH}_3$ -emissies, de zogenaamde  $\text{NH}_3$ -slip. Hoe hoger het gewenste rendement, hoe hoger de kans op ongewenste  $\text{NH}_3$  emissies.

Een  $\text{NO}_x$ -reductie van 30% met SNCR tot (met lage  $\text{NH}_3$ -emissies  $<5 \text{ mg/Nm}^3$ ) is haalbaar voor kleine installaties (5  $\text{MW}_{\text{th}}$ ). Deze installaties werken vaak discontinu waardoor het maximale rendement van de de $\text{NO}_x$ -installatie niet gehaald kan worden. Voor middelgrote installaties kan een hoger rendement gehaald worden. Zo is een rendement van 35% haalbaar. Hogere rendementen waarbij ammoniakemissies beperkt blijven zijn haalbaar mits installatie van een meting gestuurde  $\text{NH}_3$ -dosering. Uiteindelijk is met SNCR een maximale reductie van 50% mogelijk (persoonlijke communicatie).

*Economische haalbaarheid*

De investeringskosten voor SNCR bedragen ongeveer €90000 (persoonlijke communicatie, Kara Energy Systems) voor een kleine installatie. Daarnaast komen uiteraard nog exploitatiekosten, voor onderhoud en personeel, maar vooral voor aankoop van het reducerend reagens (Goovaerts, et al., 2008). De onderstaande tabel geeft een overzicht van de kostprijzen in de literatuur.

<sup>19</sup> <http://www.emis.vito.be/techniefiche/selectieve-niet-katalytische-reductie>

Investeringskost <sup>20</sup> (€/1000 m <sup>3</sup> /h)	Operationele kost (€/1000 m <sup>3</sup> /h)	Energie kWh/1000 m <sup>3</sup> /h	Opmerking	Bron
5425	950 €/ton NO <sub>x</sub> gereduceerd	/	Investeringskost wordt weergegeven als: 3100 x 175% €/1000 Nm <sup>3</sup> /u, met andere woorden 5425 €/1000 Nm <sup>3</sup> /u	Investeringskost: Vlaamse sectorstudies 2002-2004 (website LNE) Operationele kost: sectorstudie Chemie 2004 (website LNE)
2500-10000	570 kg NH <sub>3</sub> /ton NO <sub>x</sub> gereduceerd aan 150-200 €/ton NH <sub>3</sub>	/		Infomil
9000-25000 \$ <sub>1999</sub> /MW	1000-5000 \$ <sub>1999</sub> /MW	/	Kosten uitgedrukt in dollars van 1999: 1\$ = 0,9355 €	Epa.gov – factsheets
8419,5-23387,5 €/MW	935,5-4677,5 €/MW			
2300-3900	570 kg NH <sub>3</sub> /ton NO <sub>x</sub> gereduceerd aan 150 €/ton NH <sub>3</sub>	/	/	EMIS

Voor middelgrote installaties waren nog prijzen terug te vinden voor bepaalde gevalstudies, namelijk:

- €180000 voor een SNCR na een stookinstallatie van 30 MW<sub>th</sub> (Goovaerts, et al., 2008);
- €260000 voor na een installatie van 36 MW<sub>th</sub> (Confidentieel, 2010);
- €450000 voor na een installatie van 45 MW<sub>th</sub> (Confidentieel, 2010)
- €15000 voor een installatie van 3 MW<sub>th</sub>, operationele kosten voor ureum (150 euro/ton NH<sub>3</sub>, 570 kg NH<sub>3</sub>/ton NO<sub>x</sub> reductie) en onderhoud (2500 euro) (Derden, et al., 2005)

#### • SCR<sup>21</sup>

##### Beschrijving

SCR werkt net zoals SNCR met een reductans (ammoniak) en daarnaast met een katalysator. Een mengsel van ammoniak en lucht wordt geïnjecteerd in de rookgassen waarna de reactie katalytisch wordt vervolledigd. De optimale werkingstemperatuur ligt, afhankelijk van de katalysator waarmee gewerkt wordt, tussen 320 en 500°C. Het rendement van de installatie wordt dan ook bepaald door de werking van de katalysator.

##### Technische haalbaarheid

SCR is technisch toepasbaar op een brede range aan capaciteiten en alle typen van verbrandings-systemen. Een belangrijk aandachtspunt is wel de gebruikte brandstof, m.n. lage kalium-, natrium-, slicaat-, halgeen- en zwavelgehalten omdat deze de katalysator vergiftigen.

<sup>20</sup> Investeringskost uitgedrukt in functie van het rookgasdebit. Dit zorgt ervoor dat de kost van de techniek relatief gezien even duur is onafhankelijk van het vermogen van de installatie. Dit lijkt tegenstrijdig met wat tijdens gesprekken met fabrikanten en leveranciers wordt vermeld.

<sup>21</sup> <http://www.emis.vito.be/techniektiche/selectieve-katalytische-reductie>



Een SCR werkt niet efficiënt als operationele voorwaarden en de katalysator temperatuur frequent fluctueren buiten de gegeven temperatuursrange. Vandaar dat deze techniek moeilijk toepasbaar is op installaties die vaak opstarten/stoppen en die schommelende belasting hebben, wat vaak het geval is bij kleinere installaties, bijvoorbeeld voor gebouwenverwarming.

#### Milieuvoordeel

SCR heeft een hogere performantie dan SNCR: rendementen tussen 80 en 95% zijn mogelijk. Bij vergiftiging van de katalysator zal het optimale rendement echter snel verloren gaan. Voor kleinere installaties (<5 MW<sub>th</sub>) zal het rendement lager liggen, rond 80-85%. Hoe groter het vermogen, hoe constanter doorgaans de operatie en hoe hoger het rendement zal zijn.

Om vergiftiging van de katalysator tegen te gaan, wordt doorgaans een multicycloon of een andere ontstopping noodzakelijk voorafgaand aan de SCR.

#### Economische haalbaarheid

Hoewel SCR technisch in vele gevallen kan worden toegepast, is het meestal de economische haalbaarheid die bepalend zal zijn. De investeringskosten van SCR liggen aanzienlijk hoger dan voor SNCR, namelijk €300.000 voor stookinstallaties van < 5 MW<sub>th</sub>. Omwille van de nood aan ontstopping (zeker bij verbranding van vaste brandstoffen) kan deze kost gemakkelijk nog eens €150.000 hoger liggen omwille van de extra investering in bijvoorbeeld een multicycloon. (persoonlijke communicatie, Kara Energy Systems)

In de Vlaamse sectorstudie voor Chemie III

(<http://www.lne.be/themas/luchtverontreiniging/informatie-studies>) worden volgende kostprijzen vermeld:

- 0,1 MW<sub>th</sub>: €25.000
- 1 MW<sub>th</sub>: €150.000
- 10 MW<sub>th</sub>: €850.000

Overige kostprijzen uit de literatuur staan in volgende tabel.

<b>Investeringskost<sup>22</sup></b> <b>(€/1000 m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Operationele kost</b> <b>(€/1000 m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Energie</b> <b>kWh/1000 m<sup>3</sup>/h</b>	<b>Opmerking</b>	<b>Bron</b>
7500-32000	370 kg NH <sub>3</sub> per ton NO <sub>x</sub> verwijderd @ 150 EUR/ton NH <sub>3</sub>	/		EMIS
10000-83000	500-5000	/		Infomil
34562,5	2250 € per ton	/	Investeringskost wordt weergegeven in de studie als €19750x175%	Investeringskost: sectorstudie Chemie 2004 (website LNE) Operationele kost: Vlaamse sectorstudies 2002-2004

<sup>22</sup> Investeringskost uitgedrukt in functie van het rookgasdebiet. Dit zorgt ervoor dat de kost van de techniek relatief gezien even duur is onafhankelijk van het vermogen van de installatie. Dit lijkt tegenstrijdig met wat tijdens gesprekken met fabrikanten en leveranciers wordt vermeld.

De operationele kosten bestaan voornamelijk uit kosten voor het elektrisch vermogen, ammoniakoplossing en onderhoud en vervanging van de katalysator.

- **Natte wasser**<sup>23</sup>

Beschrijving

Natte kalk/kalksteenwassers zijn de meest gebruikte rookgasontzwavelingssystemen. De rookgassen worden in contact gebracht met een waterige suspensie van kalksteen. Hierdoor wordt SO<sub>2</sub> omgevormd tot calciumzouten.

Technische haalbaarheid

Natte wassers kennen vooral hun toepassing bij grote, maar ook bij middelgrote stookinstallaties. Doorgaans kent een nageschakelde ontzwavelingstechniek zoals een natte kalk/kalksteenwasser vooral toepassing bij stoken van brandstoffen met een voldoende hoog zwavelgehalte. In het geval van gasgestookte installaties en installaties op gasolie verwarming zal dit dus minder worden toegepast.

Geen enkele van de gesproken leveranciers maakt gebruik van dergelijke natte wasser voor installaties tot 50 MW<sub>th</sub>.

Milieuvoordeel

Een natte wasser verwijdert SO<sub>2</sub>, maar ook HCl en HF. Het rendement van SO<sub>2</sub> is 90-97%, 95-97% voor HCl en 80-95% voor HF. Door deze techniek ontstaat wel afvalwater dat op zijn beurt behandeld moet worden.

Economische haalbaarheid

Investeringskost <sup>23</sup> (€/1000 m <sup>3</sup> /h)	Operationele kost (€/1000 m <sup>3</sup> /h)	Energie kWh/1000 m <sup>3</sup> /h	Opmerking	Bron
2000-30000	/	/		EMIS
2500-25000	/	0,2-0,5		Infomil
0,1 MW <sub>th</sub> : €16000 1 MW <sub>th</sub> : €90000 10MW <sub>th</sub> : €510000	210 €/1000 m <sup>3</sup> /h Plus additief: 4,43 ton per ton SO <sub>2</sub> @ 45 €/ton	150 €/1000 m <sup>3</sup> /h		Investeringskost: sectorstudie Chemie 2004 (website LNE)  Operationele kost: Vlaamse sectorstudies 2002-2004 (website LNE)

- **Halfnatte wasser**<sup>24</sup>

Beschrijving

Bij halfdroge kalksorptie wordt SO<sub>2</sub> (ook HCl en HF) uit de rookgassen verwijderd door ze in contact te brengen met een wasvloeistof waarin de reagentia zijn opgelost of gesuspenderd. Het reactieproduct dat zo ontstaat is droog waardoor voorziening voor waswaterbehandeling onnodig worden.

Technische haalbaarheid

Geen van de gesproken leveranciers maakt gebruik van halfnatte wassing voor verwijdering van SO<sub>2</sub> op installaties tot 50 MW<sub>th</sub>.

<sup>23</sup> <http://www.emis.vito.be/techniefiche/natte-kalkwassing>

<sup>24</sup> <http://www.emis.vito.be/techniefiche/halfdroge-kalksorptie>

### Milieuvoordeel

De werkingsgraad voor de verwijdering van SO<sub>2</sub> ligt tussen 85 en 90%, >90% voor HCl en >85% voor HF.

### Economische haalbaarheid

<b>Investeringskost<sup>25</sup></b> (€/1000 m <sup>3</sup> /h)	<b>Operationele kost</b> (€/1000 m <sup>3</sup> /h)	<b>Energie</b> kWh/1000 m <sup>3</sup> /h	<b>Opmerking</b>	<b>Bron</b>
±100 €/kW <sub>th</sub>	0,15 cent/kW <sub>th</sub>		Vb. in studie: 30 MW <sub>th</sub> ; ±2000000 EUR	Goovaerts et al, 2002
11000	In EURO per jaar: 20000 + (400xflow/1000) + kosten adsorptiemid- del: 12 ton/1000 m <sup>3</sup> /h @ 60 €/ton	/		Infomil

- **Droog-sorbent injectie<sup>26</sup>**

#### Beschrijving

Bij droge rookgasreiniging wordt kalk of kalksteen in droge vorm verstoven in de rookgassen. De reactie vindt plaats in de reactor en ook gedeeltelijk in een nageschakelde stofafscheiding. Vanwege het geringe contactoppervlak is de noodzakelijke overmaat aan chemicaliën veel groter dan bij bijvoorbeeld halfdroge wassing.

#### Technische haalbaarheid

Geen van de gesproken leveranciers maakt gebruik van droog-sorbent injectie voor verwijdering van SO<sub>2</sub> op installaties tot 50 MW<sub>th</sub>. In de literatuur wordt gesproken over toepassingen vanaf 8 MW<sub>th</sub>.

#### Milieuvoordeel

Courante verwijderingsrendementen liggen tussen 40 en 80% voor SO<sub>2</sub>, 50 en 75% voor HCl en 10 tot 40% voor HF.

<sup>25</sup> Investeringskost uitgedrukt in functie van het rookgasdebiet. Dit zorgt ervoor dat de kost van de techniek relatief gezien even duur is onafhankelijk van het vermogen van de installatie. Dit lijkt tegenstrijdig met wat tijdens gesprekken met fabrikanten en leveranciers wordt vermeld.

<sup>26</sup> <http://www.emis.vito.be/techniefiche/droge-kalksorbitie>

## Economische haalbaarheid

Investeringskost <sup>27</sup> (€/1000 m <sup>3</sup> /h)	Operationele kost (€/1000 m <sup>3</sup> /h)	Energie kWh/1000 m <sup>3</sup> /h	Opmerking	Bron
8000-10000	150  Additief: 4,43 ton per ton SO <sub>2</sub> @ 45€/ton	/		Investeringskost: sectorstudie Chemie 2004 (website LNE)  Operationele kost: Vlaamse sectorstu- dies 2002-2004 (website LNE)  EMIS

### → Stationaire motoren

- **Roetfilter**  
*Beschrijving*

Roetfilters kunnen ingezet worden om stofemissies van dieselmotoren te verlagen. Ze worden vooral toegepast bij dieselmotoren in wagens en vrachtwagens, maar kunnen ook in stationaire toepassingen worden gebruikt. Een roetfilter wordt zo dicht mogelijk bij de motor in het uitlaatsysteem gemonteerd. De filter kan worden gemaakt van keramisch materiaal, bijvoorbeeld siliciumcarbide. Andere mogelijke filtermaterialen zijn sintermetaal of gestapelde laagjes metaalgaas en metaalplaat, in alle gevallen voorzien van een katalytische coating. De deeltjes verzamelen zich in de filter. Met name de kleinere deeltjes worden afgevangen doordat zij vastkleven aan de wanden van de poriën van het filtermateriaal. Roetfilters zijn daardoor ook voor de allerkleinste deeltjes effectief.

In een roetfilter worden de afgevangen roetdeeltjes periodiek verbrand. Deze verbranding wordt wel aangeduid met regeneratie. Voor die spontane verbranding is een temperatuur van ca. 600 °C nodig, die alleen bij zeer hoge motorbelasting wordt bereikt. Om ook bij lagere motorbelasting tot regeneratie te komen wordt of kunstmatig de temperatuur van het uitlaatgas opgevoerd, of door verhoging van het aandeel stikstofdioxide in het uitlaatgas met een oxidatiekatalysator en/of toevoeging van een additief aan de brandstof, zoals ceriumoxide cerine, de ontstekingstemperatuur van het roet verlaagd. Brandstofadditieven hebben als nadeel dat zij tot asvorming leiden waardoor de standtijd van de filter wordt beperkt. Sensoren in de filter signaleren wanneer deze verbranding, die een aantal minuten duurt, moet gebeuren.

Er wordt onderscheid gemaakt tussen gesloten "wall flow" filters en in (half) open filters. Keramische wall flow filters worden op dit moment vooral toegepast bij nieuwe dieselauto's. Voor het achteraf uitrusten van bestaande dieselauto's met een roetfilter komen de (half) open filters meer in aanmerking. Hierbij is immers geen ingreep vanuit het motormanagement mogelijk om de uitlaatgastemperatuur te verhogen, waardoor een gesloten filter verstopt zou kunnen raken. Gesloten filters hebben een rendement van 95% of meer. Half open filters zijn, afhankelijk van de rijomstandigheden, 30 tot 70 % effectief.

<sup>27</sup> Investeringskost uitgedrukt in functie van het rookgasdebiet. Dit zorgt ervoor dat de kost van de techniek relatief gezien even duur is onafhankelijk van het vermogen van de installatie. Dit lijkt tegenstrijdig met wat tijdens gesprekken met fabrikanten en leveranciers wordt vermeld.

### Technische haalbaarheid

Roetfilters zijn nog vrij nieuw, maar kennen ondertussen een breed toepassingsgebied, zeker bij dieselmotoren in wagens en vrachtwagens. Ook voor stationaire motoren kunnen roetfilters in principe worden ingezet, vooral bij kleinere motoren (tot 500 kW<sub>th</sub>) omdat deze vergelijkbaar zijn met de grotere vrachtwagens. Voor grotere vermogens laat de praktische toepassing echter nog op zich wachten. Binnen de scheepswereld beginnen roetfilters stilaan op te komen om aan de normen te kunnen voldoen. Er is echter nog verder onderzoek en ontwikkeling nodig om de werking en dimensionering te optimaliseren (persoonlijke communicatie, M. Pecqueur). In de herziene BEMS-richtlijn in Nederland worden roetfilters verondersteld op alle stationaire dieselmotoren, behalve de noodvoorzieningen. Deze laatste maken de toepassing van roetfilters veel moeilijker omwille van hun beperkte draaiuren en erg wisselende belasting.

### Milieuvoordeel

Roetfilters op nieuwe motoren houden 95% of meer van de roetdeeltjes tegen (geldt voor automotoren). Stofemissies <15 mg/Nm<sup>3</sup> bij 15% O<sub>2</sub> zijn haalbaar.

Bij het toevoegen van een roetfilter is het streven dat het motorvermogen niet wordt verminderd, maar het kan voorkomen dat de motor 2-4 % meer brandstof verbruikt en dus een hogere CO<sub>2</sub>-uitstoot heeft. Dit verhoogde brandstofverbruik komt doordat een steeds voller filter een steeds groter obstakel vormt voor de uitlaatgassen. De kracht om de uitlaatgassen door het filter heen te duwen moet door de motor worden geleverd.

### Economische haalbaarheid

Omdat praktische toepassingen momenteel nog uitblijven, zijn er weinig of geen economische cijfers beschikbaar. Het is dan ook onmogelijk om in te schatten of deze maatregel economisch haalbaar is of niet. Roetfilters voor vrachtwagens staan momenteel op de LTL, lijst voor Ecologiesteun (Ecologiepremie). Een roetfilter bij een motor van 390 kW<sub>th</sub> kost om en bij €5000. Voor stationaire toepassingen bij motoren van 500 kW<sub>th</sub> worden kostprijzen van €8000 vermeld (persoonlijke communicatie M. Pecqueur, 2011).

- **Doekenfilter/ESP**

#### Beschrijving

Doekenfilters of ESP voor dieselmotoren kunnen worden ingezet voor de reductie van stofemissies.

#### Technische haalbaarheid

Deze technieken worden wel al geruime tijd toegepast op stookinstallaties, maar voor dieselmotoren is de kennis en vooral de ervaring nog beperkt. Verder onderzoek naar de toepassingsmogelijkheden en optimale omstandigheden is nodig.

#### Milieuvoordeel

Net zoals de toepasbaarheid dient verder onderzoek te gebeuren naar de haalbare emissiewaarden met ESP of doekenfilter bij motoren.

#### Economische haalbaarheid

Aangezien deze techniek zich nog in de ontwikkelings- en testfase bevindt, zijn geen realistische kostprijzen beschikbaar.

- **SCR**

*Beschrijving*

SCR, met katalysator en injectie van een reductans, kan ook bij motoren ingezet worden om NO<sub>x</sub> emissies terug te brengen.

*Technische haalbaarheid*

Een belangrijke voorwaarde, ook bij motoren, is een schone brandstof, die zo weinig mogelijk stoffen bevat die de katalysator zouden kunnen vergiftigen (persoonlijke communicatie, Dresser Waukesha).

*Milieuvoordeel*

NO<sub>x</sub>-emissies van motoren kunnen door inzetten van SCR met 80-95% verlaagd worden. Zo zal een motor op residuele brandstof een emissieniveau van ca. 130 mg/Nm<sup>3</sup> bij 15% O<sub>2</sub> kunnen halen (Wärtsila, 2010).

*Economische haalbaarheid*

SCR wordt door de meeste fabrikanten van motoren als te kostenverhogend beschouwd om toepassing te kennen.

Kostprijzen voor SCR bij toepassing op gasmotoren worden gegeven in het achtergronddocument bij de herziening van het BEES B (tot BEMS) (Kroon, et al., 2008)

<b>Elektrisch vermogen</b>	<b>Gemiddeld elektrisch vermogen</b>	<b>Thermisch vermogen</b>	<b>Gemiddelde investeringskosten SCR-installatie</b>	<b>Gemiddelde investeringskosten SCR-installatie</b>
[kWe]	[kWe]	[kW <sub>th</sub> ]	[€/kWe]	[€]
0-250	150	0-375	160	24000
250-500	375	375-750	110	41250
500-750	625	750-1125	80	50000
750-1000	875	1125-1500	70	61250
>1000	1500	>1500	50	75000

De operationele kosten omvatten de jaarlijkse kosten voor onderhoud (5% van de investering) en kosten voor vervanging van het katalysatormateriaal. Aangenomen wordt dat dit katalysatormateriaal 5 jaar mee gaat en dat vervanging 30% van de originele investering kost. Verder gebruikt een SCR-installatie ureum, waarvan de kosten ca. €0,72 per kg NO<sub>x</sub>-reductie bedragen. Met 1 kg ureum kan 1,4 kg NO<sub>x</sub> worden gereduceerd. De operationele kosten wegen vaak veel meer door dan de investeringskosten.

- **Driewegkatalysator of NSCR<sup>28</sup>**

*Beschrijving*

Een driewegkatalysator of niet selectieve katalytische reductie (NSCR) oxideert CO en koolwaterstoffen tot CO<sub>2</sub> en water en reduceert NO<sub>x</sub> tot stikstofgas. De rookgassen worden over de katalysator geleid zonder toevoeging van reagentia. Driewegkatalysatoren zijn vooral gekend voor transporttoepassingen en worden ook toegepast in stationaire toepassingen, voornamelijk in de kleinere vermogensrange (< 500 kW<sub>e</sub>).

<sup>28</sup> <http://www.emis.vito.be/techniekfiche/niet-selectieve-katalytische-reductie>

### Technische haalbaarheid

Driewegkatalysatoren werken enkel optimaal bij stoichiometrische omstandigheden, dus een lucht-factor ca. gelijk aan 1. Dit wordt o.a. mogelijk gemaakt door een gesloten kringregeling via een lambdasonde in de uitlaat. Deze techniek is enkel toepasbaar bij gesmoorde mengselmotoren en niet bij zelfontbranders zoals dieselmotoren (Emis, 2011).

### Milieuvoordeel

Emissies van  $\text{NO}_x$  kunnen worden gereduceerd met 90-98% door toepassing van deze techniek, tot een restemissie van  $50 \text{ mg/Nm}^3$ . NSCR kan echter nadelig werken voor wat betreft het rendement van de motor. Motortechnische prestaties van stoichiometrische motoren zijn lager dan deze van lean burn motoren met drukvulgroep.

### Economische haalbaarheid

In de technische fiches van Infomil (SenterNovem InfoMil, 2009) wordt voor een motor van 8000 pk (ongeveer 580 kW) een prijs gegeven van €244000.

- **$\text{SO}_2$ -reductietechnieken**

Toepassingen van nageschakelde technieken, zoals wassers, voor de reductie van  $\text{SO}_2$  zijn nog steeds beperkt. Voornamelijk bij grote vermogens ( $> 50 \text{ MW}$ ) worden deze vermeld. De keuze voor andere brandstoffen met een lager zwavelgehalte blijkt doorgaans de eerste optie te zijn voor de reductie van  $\text{SO}_2$ .

- **Gasturbines**

- **SCR/SNCR**

- Beschrijving

Voor gasturbines is SCR zowat de voornaamste secundaire maatregel voor reductie van  $\text{NO}_x$ -emissies. Vooral voor aardgastoeepassingen is de techniek goed gekend.

- Technische haalbaarheid

Voor vermogens tot 50 MW wordt deze techniek zelden of nooit toegepast. In Nederland wordt wel meer en meer aandacht besteed aan deze toepassing, maar is SCR bij gasturbines nog niet als standaard toegepast.

- Milieuvoordeel

zie eerdere beschrijving SCR

- Economische haalbaarheid

Zie eerdere beschrijving SCR

- **SCONO<sub>x</sub>**

- Beschrijving

SCONO<sub>x</sub> is net zoals SCR een secundaire, katalytische maatregel om  $\text{NO}_x$ -emissies te reduceren. Er wordt gewerkt met één katalysator voor zowel CO als  $\text{NO}_x$ -reductie. Bij toepassing van deze techniek wordt echter niet gewerkt met een reagens, zoals ammoniak bij SCR. Het aanwezige NO en CO worden eerst geoxideerd tot  $\text{NO}_2$  en  $\text{CO}_2$ , waarna alle  $\text{NO}_2$  op het oppervlak geabsorbeerd wordt.

### Technische haalbaarheid

In de Verenigde Staten werd deze technologie benoemd als LAER (Lowest Achievable Emission Rate), maar het is nog geen bewezen technologie (bron: epa.gov). Hoe ver men anno 2011 met de toepassing van deze techniek staat is onbekend. Recente informatie of voorbeelden van toepassingen werden niet teruggevonden of vermeld door leveranciers.

### Milieuvoordeel

Tabel 17: Vergelijking tussen SCR en EMx™ (2<sup>e</sup> generatie SCONO<sub>x</sub>)

(Emerachem, 2004)

	SCR	EMx™
Additional catalyst system required for CO and VOC reduction	yes; SCR reduces NO <sub>x</sub> only	no; EMx™ is a multi-pollutant catalyst
NO <sub>x</sub> emission @ 15 - 25 ppm NO <sub>x</sub> inlet	2 - 5 ppm	less than 2 ppm
NH <sub>3</sub> slip @ 15 - 25 ppm NO <sub>x</sub> inlet	3 - 6 ppm	zero; NH <sub>3</sub> not used or emitted from process
NO <sub>x</sub> emission @ <10 ppm NO <sub>x</sub> inlet	2 - 5 ppm	0.5 - 1.5 ppm
NH <sub>3</sub> slip @ <10 ppm NO <sub>x</sub> inlet	2 - 10 ppm	0
Additional catalyst required when NO <sub>x</sub> inlet <10 ppm	yes	no
Fine Particulate (PM <sub>10</sub> )	SCR generates PM <sub>10</sub>	EMx™ reduces PM <sub>10</sub>
Disposition of spent catalyst	hazardous solid waste	non-hazardous; recover value for platinum precious metal

### Economische haalbaarheid

Er zijn in de literatuur weinig of geen kostprijsgegevens gekend. Ook bij leveranciers van gasturbines was geen verdere informatie beschikbaar. Een BBT evaluatie blijft daarom verder uit.

## 4.2 Verhogen energie-efficiëntie

(Goovaerts, et al., 2008)

(VNCI, 2008)

Bij de verbranding van fossiele of hernieuwbare brandstoffen, zullen verliezen optreden in de vorm van:

- Piek- en onderbelastingsverliezen;
- Schoorsteenverliezen;
- Isolatieverliezen.

Uiteindelijk is het de bedoeling om met zo min mogelijk primaire energie, en met zo laag mogelijke emissies van NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, stof en CO, maximale nuttige energie te leveren. Om dit te kunnen bereiken moet in eerste instantie gekozen worden voor branders die ontworpen werden voor zowel emissiereductie als energie-efficiëntie. Daarnaast dienen de genoemde verliezen geminimaliseerd te worden.



Om de kosten voor het produceren van stoom of warm water te beperken, probeert men dus zoveel mogelijk energie uit de brandstof te halen. De geëxtraheerde energie dient daarnaast ook zo efficiënt mogelijk te worden aangewend. Door de verlaging van de benodigde hoeveelheid brandstof om een gegeven volume warm water of stoom te produceren, blijven emissies beperkt. Om emissies ten gevolge van verbrandingsprocessen te beheersen, zijn ook maatregelen ter bevordering van de energie-efficiëntie van belang. Een belangrijk aandachtspunt hierbij is dat veel van de ingrepen ter beperking van emissies, zoals verhogen van de luchtvermaat, een negatief effect kunnen hebben op de energie-efficiëntie. Een grondige afweging van de voor- en nadelen en het netto-effect op emissieniveaus is hier dan ook aan de orde.

- **Optimalisatie verbranding en beperking luchtvermaat**

*Beschrijving*

De hoeveelheid lucht aanwezig bij de verbranding moet voldoende groot zijn om verliezen door onvolledige verbranding te beperken. Te veel lucht is dan weer niet bevorderlijk voor de energie-efficiëntie. Luchtvermaat, dus het *teveel* aan lucht boven dat wat nodig is voor volledige verbranding, zorgt enerzijds voor energieverlies omdat deze lucht ook moet worden opgewarmd. Daarnaast zorgt het ook voor verspilling van ventilatorenergie. Een goede afstelling van de branders en eventueel een online meting/sturing van het zuurstofgehalte (lambdasonde) kunnen een efficiënte, volledige verbranding verzorgen.

*Technische haalbaarheid*

Ondanks zorgvuldige afstelling van de branders zijn er een aantal externe invloeden die tijdens het bedrijf van conventionele stookinstallaties de optimale condities verstoren. Voorbeelden hiervan zijn de aardgassamenstelling en viscositeit van stookolie, maar ook weersomstandigheden die de hoeveelheid zuurstof in de lucht beïnvloeden.

*Milieuvoordeel*

Algemeen geldt dat iedere 5% luchtvermaat overeenkomt met 1% zuurstofvermaat: dit betekent al gauw 0,5% energieverlies. Het is dus duidelijk dat een optimale verbranding door goede sturing en controle een groot rendementsverschil kan betekenen.

*Economische haalbaarheid*

Er is niet onmiddellijk een meerkost verbonden aan het optimaliseren van de verbranding. Wel kan, indien de sturing niet optimaal gebeurt, het teveel aan lucht zorgen voor energieverlies. Dit brengt uiteraard wel een meerkost met zich mee. Het sturen van de ventilator zorgt uiteraard ook voor een hogere energiekost.

- **Rookgascondensatie**

*Beschrijving*

De door verbranding opgewekte energie in de vorm van hete rookgassen kan nog op verschillende manieren nuttig worden aangewend. Zo kan de warmte uit de rookgassen gebruikt worden om stoom op te wekken, het procesmedium te verhitten of thermische olie, water of lucht te verhitten.

Een mogelijke manier om de energie uit de rookgassen te benutten is het toepassen van rookgascondensatie. Condensatietechnologie biedt een efficiënte manier om ook de latente warmte-energie die in de waterdamp van de rookgassen zit nuttig aan te wenden, naast de reeds voelbare warmte van de rookgassen. Op deze manier wordt dus de energie, die anders verloren zou gaan via de schoorsteen, toch benut. De rookgastemperatuur is bij het verlaten van de schoorsteen nog slechts in geringe mate groter dan de retourtemperatuur van het ketelwater: de aangewende energie (uit de brandstof) wordt

nagenoeg volledig benut. Naast het voordeel naar energie-efficiëntie, biedt een condensatieketel een belangrijke bijkomende verlaging van de NO<sub>x</sub>-emissie, in combinatie met een lage NO<sub>x</sub>-brander.

#### Technische haalbaarheid

Voor kleine stookinstallaties (<1MW<sub>th</sub>) wordt condensatietechnologie als standaard beschouwd: de meeste verwarmingsketels zijn opgebouwd als condensatieketels: de condensatie van de rookgassen gebeurt in de ketel zelf. Bij grotere vermogens wordt geopteerd voor een nageschakelde condensator. Ook bij deze grotere vermogens vindt rookgascondensatie meer en meer ingang omwille van het grote energiebesparingspotentieel.

Een belangrijk aandachtspunt bij het toepassen van rookgascondensatie is de materiaalkeuze voor de ketel. Het juiste materiaal moet ervoor zorgen dat het ontstane condenswater geen corrosieschade kan veroorzaken. Roestvast staal is hiervoor waarschijnlijk het beste materiaal (persoonlijke communicatie, Viessmann)

#### Milieuvoordeel

Ketels < 1 MW<sub>th</sub> met een geïntegreerde condensator halen rendementen van 97,4-98,3%, in tegenstelling tot bijvoorbeeld een hoogrendementsketel die ongeveer 92% haalt. Voor de grotere vermogens, waar nageschakelde condensators gebruikt worden, komen ook steeds meer voor. Het jaarrendement van deze ketels ligt iets lager (93,8-94,7% voor gas, 97,3-98,3% voor stookolie) omwille van de hogere temperatuur in de ketel (persoonlijke communicatie, Viessmann).

#### Economische haalbaarheid

Voor kleine verwarmingsketels is condensatietechnologie als standaard te beschouwen. Het prijsverschil tussen een condensatieketel en een lage temperatuursketel (met klassieke verbranding) kan gaan van €1000 tot €4000, maar wordt gedurende de levensduur van de ketel terugverdiend. Daarnaast kan iedereen genieten van een of andere premie omwille van het energiezuinige karakter van deze installatie.

Voor een nageschakelde rookgascondensator werden volgende prijzen meegedeeld:

- Voor verwarmingsketel 630-1300 kW: ca. €9.000
- Voor verwarmingsketel 1600-2000 kW: ca. €12.000
- Voor verwarmingsketel 4700-5300 kW: ca. €43.000

Het plaatsen van een rookgascondensator kan in de praktijk leiden tot een branderselectie van een hoger vermogen wat een hogere kost kan betekenen (persoonlijke communicatie, Weishaupt).

## 4.3 Algemene bevindingen

In deze paragraaf vatten we voor stookinstallaties, stationaire motoren en gasturbines de belangrijkste tendensen en evoluties samen en trachten we aan te geven welke (combinaties) van technieken uit voorgaande paragrafen in de praktijk toegepast worden in nieuwe installaties. Uiteraard ligt hierbij de focus op de haalbare prestaties (emissies en rendementen). We verwijzen hierbij telkens naar de informatie die verzameld werd tijdens de diverse leverancierscontacten en naar de conclusies en aanbevelingen van de EGTEI-werkgroep.

### 4.3.1 Stookinstallaties

#### → Leveranciersinfo

Voor het verzamelen van de informatie in dit hoofdstuk werden verschillende leveranciers van stookinstallaties en branders gecontacteerd:

- Viessmann Belgium
- Oertli Distribution Belgium/DeDietrich
- Mampaey bvba
- Riello
- Belgian Boiler Company (BBC-Loos)
- Kara Energy Systems (Nederland)
- Imtech Industry International B.V (Nederland)
- SRM-Maseth
- Callens-EMK
- Weishaupt
- Blockdias

Belangrijke algemene conclusies en inzichten uit deze contacten:

Nieuwe stookinstallaties binnen de kleine vermogensrange worden voornamelijk ingezet voor gebouwenverwarming. Bij vervanging van oude installaties door nieuwe valt op dat doorgaans de vermogens een stuk lager liggen dan die van de oude installatie. Dit is voor een groot deel te wijten aan de getroffen energiebesparende maatregelen. Het brandstofverbruik vermindert nog meer dankzij de hogere efficiëntie van de ketels, maar ook dankzij de verbeterde dimensionering. Vaak bestaat de installatie uit een cascade van kleinere installaties. Dergelijke cascadesystemen (vaak tegen een beperkte meerkost) worden vaak verkozen boven een enkele stookketel om verscheidene redenen:

- Operationele zekerheid;
- Efficiëntere deellast werking en daardoor lagere NO<sub>x</sub>-emissies (vervat in optimale werking & dimensionering);
- ...

De grotere stookinstallaties, ingezet voor gebouwenverwarming of procestoepassingen, worden steeds vaker uitgerust met technieken om voornamelijk de energie-efficiëntie te verbeteren, zoals rookgascondensatie, zuurstofregeling en frequentiesturing (zie 4.3 Verhogen energie-efficiëntie). Het hogere rendement zorgt ook hier voor een dalende trend qua vermogens bij vervanging. Een erg belangrijk punt hierbij is wel de vuurhaardbelasting: deze mag niet te hoog zijn met het oog op NO<sub>x</sub>-emissies. In Nederland, waar de NO<sub>x</sub>-emissiegrenswaarde een stuk lager ligt dan bij ons, zijn soms de beste brandertechnieken niet voldoende om NO<sub>x</sub>-emissies laag genoeg te houden in stoomketels. Daarom wordt de ketel vaak groter gedimensioneerd met het oog op een lagere vuurhaardbelasting en dus beperking van NO<sub>x</sub>-emissies zodat secundaire maatregelen niet nodig zijn.

De installaties binnen de beschouwde vermogensrange, worden meestal gestookt met aardgas of gasolie verwarming en residuele brandstof. Toepassing van kleine of middelgrote stookinstallaties op steenkool werden enkel vermeld binnen de tuinbouw, waar het voornamelijk installaties beneden de 5 MW<sub>th</sub> betreft (*persoonlijke communicatie Blockdias, 2011*).

Kleine en middelgrote stookinstallaties zijn zelden uitgerust met end-of-pipe technieken om emissies te beperken. Zeker voor wat betreft NO<sub>x</sub>, wat het grootste probleem vormt bij gas- en oliigestookte installaties, wordt de voorkeur gegeven aan primaire maatregelen. Voor wat betreft zwavelemissies, blijken de meeste leveranciers vooral aandacht te besteden aan de gebruikte brandstof, met name stookolie met een laag S-gehalte. De meeste van de leveranciers vermelden SO<sub>2</sub> dan ook zelden of nooit als een probleememissie, mede dankzij het feit dat gas als brandstof steeds meer terrein wint. Enkel bij installaties op steenkool worden af en toe end-of-pipe technieken voor emissiereductie toegepast. Bij vlamkolenketels is zowel voor NO<sub>x</sub> (ureuminjectie=SNCR) als stof (multicycloon) rookgasreiniging nodig om aan VLAREM te kunnen voldoen. Bij antracietketels kunnen goed ontwerp en procesvoering wel de huidige normen garanderen (*persoonlijke communicatie Blockdias, 2011*).

Uit gesprekken met leveranciers blijken volgende waarden haalbaar voor nieuwe installaties beschikbaar op de markt, met name door primaire maatregelen zoals lowNO<sub>x</sub>-branders, optimale verbranding, regeling, ...:

- Aardgas:
  - Tot 20 MW: NO<sub>x</sub>=80 mg/Nm<sup>3</sup> (3% O<sub>2</sub>) (premix branders)  
CO=100 mg/Nm<sup>3</sup> (3% O<sub>2</sub>)
  - > 20 MW: NO<sub>x</sub>=100 mg/Nm<sup>3</sup> (3% O<sub>2</sub>)<sup>29</sup>
- Gasolie verwarming:
  - 300 kW – 5 MW: NO<sub>x</sub>=185-210 mg/Nm<sup>3</sup>
  - 5 MW – 22 MW: NO<sub>x</sub>= 230 mg/Nm<sup>3</sup> (3% O<sub>2</sub>)  
CO=ca. 100 mg/Nm<sup>3</sup> (3% O<sub>2</sub>)  
SO<sub>2</sub> wordt gereguleerd door S-inhoud:  
ongeveer 170 mg SO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup>
- Residuele brandstof:
  - Geen praktische info over gekregen. Derden A. et al (2005) vermeldt:
    - 525 mg NO<sub>x</sub>/Nm<sup>3</sup> bij primaire maatregelen
    - 1700 mg SO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup>
- Andere gassen, zoals stortgas, mijngas, ...:
  - Geen informatie verkregen van leveranciers. In de literatuur worden meestal iets hogere emissiewaarden vermeld dan voor aardgas, maar verschillende bronnen lopen hier uiteen.
  - Voor andere gasvormige brandstoffen worden doorgaans andere emissieniveaus opgegeven dan voor aardgas. In de Duitse TA Luft wordt voor andere gassen dan aardgas als NO<sub>x</sub>-emissiegrenswaarde 200 mg/Nm<sup>3</sup> (3% O<sub>2</sub>) gehanteerd, in plaats van 110 mg/Nm<sup>3</sup> (3% O<sub>2</sub>). In het Nederlandse BEMS wordt gesteld dat, wanneer andere gassen dan aardgas worden verbrand, de emissiegrenswaarden moeten worden gecorrigeerd met een factor welke afhankelijk is van de onderste verbrandingswaarde van het gas:

<sup>29</sup> Geavanceerde lage NO<sub>x</sub> branders kunnen nog verder emissies reduceren, tot ongeveer 70 mg/Nm<sup>3</sup>, uiteraard bij een bijpassend ketelontwerp (lage vuurhaardbelasting). Voor hoge druk stoomketels zou dit wel anders kunnen zijn omdat deze door de dikke wanden voor duurder zijn en normaal met hoge vuurhaardbelasting werken. Aanpassing tot lage vuurhaardbelasting en een lage NO<sub>x</sub> brander zou financieel wel een knelpunt kunnen betekenen.

$$EGW = \frac{\text{onderste verbrandingswaarde ingezet gas} \left( \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \right)}{\text{verbrandingswaarde aardgas} \left( \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \right)} \times EGW_{\text{aardgas}}$$

De emissiegrenswaarde voor een gas met een hogere verbrandingswaarde zal dus hoger worden dan de emissiegrenswaarde van aardgas, bijvoorbeeld 70 mg NO<sub>x</sub>/Nm<sup>3</sup>, de emissiegrenswaarde voor een gas met een lagere verbrandingswaarde wordt lager.

Deze cijfers zijn de beste die werden meegedeeld als haalbaar. Vooral voor NO<sub>x</sub> blijkt dat een verbetering (t.o.v. de huidige normen). Uiteraard zijn deze emissiegrenswaarden gemiddeld haalbaar en zullen bepaalde omstandigheden (zoals belastingsgraad) of ontwerpparameters een invloed hebben op het emissieniveau.

### → EGTEI subgroep voor stofemissies van kleine en middelgrote stookinstallaties

Met betrekking tot stofemissies van kleine en middelgrote stookinstallaties, werd in het kader van de herziening van het Gothenburg protocol een technische werkgroep samengesteld onder de EGTEI. Vertegenwoordigers van verschillende Europese landen namen deel aan deze werkgroep, o.a. VITO voor Vlaanderen, CITEPA voor Frankrijk, de Umweltbundesamt voor Duitsland en ECN voor Nederland.

Stookinstallaties < 50 MW<sub>th</sub> worden beschouwd als belangrijke bronnen voor stofemissies, maar werden tot nog toe niet opgenomen in het Gothenburg protocol. De focus binnen de werkgroep lag voornamelijk op de verbranding van hout. De emissiegrenswaarden voorgesteld door de werkgroep kunnen als volgt worden beschreven:

- Optie 1: ELV1 is een vergaande maar technisch haalbare optie met het oog op een hoge mate van emissiereductie. De ELV (Emission Limit Value) is gebaseerd op een waarde binnen de BAT AEL (BAT Associated Emission Levels) range (waar mogelijk);
- Optie 2: ELV2, hoewel technisch vergaand, houdt meer rekening met de kosten voor de maatregel en dus nodig voor het behalen van de reductie. De ELV is gebaseerd op de bovenste BAT AEL;
- Optie 3: ELV3 stelt in feite de huidige stand der techniek voor en is in de meeste gevallen gebaseerd op de wetgeving van een aantal van de deelnemende landen.

Aangezien er voor installaties < 50 MW<sub>th</sub> geen BREF bestaat, werd een technisch achtergronddocument opgesteld (Nussbaumer, 2010).

Onderstaande tabel (EGTEI, 2010) toont de voorgestelde ELVs en de daarbij horende emissiereductietechnieken. Enkel de informatie m.b.t. nieuwe installaties wordt getoond.

Tabel 18: Voorgestelde emissiegrenswaarden & overeenkomstige reductietechnieken voor stofemissies van stookinstallaties met een capaciteit (1-50MW)

Fuel and capacity		Suggested ELV for dust (mg/Nm <sup>3</sup> )		
		ELV1	ELV2	ELV3
Solid fuels 1 – 5 MW <sub>th</sub>	New installation	10	20	150
		Improved ESP, FF	Improved ESP, FF	Cyclone
Solid fuels 5 – 50 MW <sub>th</sub>	New installation	10	20	50
		Improved ESP, FF	Improved ESP, FF	Simple ESP
Liquid fuels 1 – 5 MW <sub>th</sub>	New installation	10	20	150
		Improved ESP, FF	Improved ESP, FF	Cyclone
Liquid fuels 5 – 50 MW <sub>th</sub>	New installation	10	20	50
		Improved ESP, FF	Improved ESP, FF	Simple ESP
O <sub>2</sub> reference concentration:				
Wood, other solid biomass and peat: 11%				
Coal, lignite and other fossil solid fuels: 6%				
Liquid fuels, incl. liquid biofuels: 3%				

### 4.3.2 Stationaire motoren

#### → Leveranciersinformatie

Informatie over stationaire motoren werd bij volgende leveranciers bekomen:

- Wärtsila
- Enerflex (Nederlandse verdeler van Waukesha motoren)
- Dresser Waukesha
- GE Jenbacher
- MAN Diesel
- Eneria (verdeler Caterpillar)

Hieronder worden kort de voornaamste bevindingen van de leveranciers geschetst.

Voor **gasmotoren** blijken de meeste leveranciers het eens voor wat betreft haalbare emissiewaarden. De standaard toegepaste maatregelen zijn een aangepast ontwerp (vb. Miller cycle) en lean burn omstandigheden. SCR geven de meeste leveranciers aan als maatregel om emissies sterk te reduceren bij de verbranding van aardgas. Indien biogas wordt gestookt treden meestal te veel problemen op en vermijdt men inzetten van SCR. Belangrijk is wel dat de leveranciers allemaal de enorme kostenverhoging aanhalen: toepassing van SCR na een stationaire gasmotor zorgt vaak voor een verdubbeling van de kosten, zowel investeringskosten als operationele kosten. Emissiewaarden haalbaar met elk van de technieken:

- Enkel primaire maatregelen voor NO<sub>x</sub> reductie:
  - Standaard NO<sub>x</sub>-emissie d.m.v. eenvoudige primaire maatregelen (lean burn) → 500 mg/Nm<sup>3</sup> bij 5% O<sub>2</sub>
  - Laagst haalbare NO<sub>x</sub>-emissie (advanced lean burn en eventueel andere primaire maatregelen) → 250 mg/Nm<sup>3</sup> bij 5% O<sub>2</sub>, maar dit zorgt voor een vermindering van het rendement (±3%)!

- Bij toepassing van secundaire technieken wordt altijd gekeken naar SCR:
  - Mits hoge efficiëntie van de SCR → 85 - 90 mg/Nm<sup>3</sup> haalbaar

Stationaire **dieselmotoren** komen bijna uitsluitend voor bij noodstroomtoepassingen. De motoren in dergelijke generatortoepassingen zijn meestal kleine motoren, met een vermogen kleiner of gelijk aan 5 MW. Bij dieselmotoren wordt standaard gebruik gemaakt van primaire maatregelen voor de reductie van  $NO_x$ , zoals toepassing van het Miller Cyclus-concept. Ook nageschakelde technieken, zoals SCR, kunnen worden toegepast om het emissieniveau in de rookgassen beneden de limieten te krijgen. De stationaire dieselmotoren in noodstroomtoepassingen uitrusten met SCR is een dure aangelegenheid die niet wordt toegepast in de praktijk (persoonlijke communicatie Eneria, 2011).  $NO_x$  kan in deze gevallen worden beperkt door het gebruik van een dubbel koelingscircuit: de standaard ventilator wordt vervangen door een externe tafelkoeler met twee gescheiden circuits. Het ene circuit dient voor de koeling van de motor (normaal de taak van de ventilator), het andere circuit voor de koeling van de lucht om  $NO_x$  te beperken. Dergelijke koeler wordt doorgaans op het dak geplaatst en kost, voor een motor van 5 MW<sub>th</sub> ongeveer €35000, inclusief €15000 leidingwerk.  $SO_2$ -emissies worden meestal beperkt door de keuze voor een andere brandstof (lager zwavelgehalte), maar kunnen ook verder gereduceerd worden door het inschakelen van wassers.

Stofemissies zijn niet onbelangrijk bij dieselmotoren, maar worden door de meeste leveranciers niet als problematisch aangegeven. Goede operationele omstandigheden en primaire maatregelen houden de stofemissies doorgaans beneden de grenswaarden. Wat betreft de toepassing van roetfilters bij stationaire dieselmotoren, werd door verschillende contactpersonen vermeld dat niet voor alle vermogens even haalbaar is. Voor motoren tot 500 kW, vergelijkbaar met motoren uit grote vrachtwagens, gelden gelijkaardige technieken die kunnen worden toegepast. Een roetfilter kan dus ook worden ingezet om PM-emissies te verminderen. Bij grotere motoren, bijvoorbeeld vanaf 2-5 MW bevindt de techniek zich nog eerder in de ontwikkelingsfase. De kost om een roetfilter bij dergelijke motor toe te passen loopt al snel hoger op. Daarbij komt dan nog de vrij beperkte levensduur ervan, waardoor de investering duurder wordt. Bij toepassing van een dieselmotor in een WKK is de belasting tamelijk constant, waardoor de dimensionering en werking van de roetfilter niet zo'n groot probleem vormt. Bij noodstroom motortoepassingen echter, is de belasting erg schommelend, net als de temperatuur: een optimale dimensionering en werking van de roetfilter is dus moeilijk te bereiken. Cyclonen (en doekenfilters) kunnen in principe ook worden toegepast bij stationaire dieselmotoren, maar in de praktijk gebeurt dit zelden. Cyclonen zijn vrij groot en zwaar, waardoor structurele aanpassingen aan gebouwen bijvoorbeeld noodzakelijk zijn. (persoonlijke communicatie Eneria, 2011; persoonlijke communicatie M. Pecqueur, 2011).

**Dual-fuel motoren** werden door de meeste leveranciers niet of heel beperkt toegelicht. Algemeen gezien geldt dat een dual-fuel motor geoptimaliseerd is voor werking op gas. De vloeistofmodus dient eerder als back-up en zal dus gemiddeld hogere emissies genereren dan bij de verbranding van vloeibare brandstoffen in een dieselmotor.

### → EGTEI subgroep voor stationaire motoren

In kader van de herziening van het Gothenburg-protocol, werd een werkgroep opgericht onder EGTEI voor stationaire motoren. De motoren, behandeld door de werkgroep, omvatten gasmotoren, dieselmotoren en dual-fuel motoren. De controletechnieken besproken in het achtergronddocument dienen voor emissies van zwavel,  $NO_x$ , VOS en stof. De aanbevelingen zijn dan weer enkel toegespitst op  $NO_x$ .

- **Diesel motoren**  
De voornaamste polluenten in de uitlaatgassen van een dieselmotor op residuele brandstof zijn stikstofoxiden ( $NO_x$ ), stof (PM) en zwaveloxiden ( $SO_x$ ). Omwille van de hoge verbrandingsefficiëntie in een dieselmotor zijn de emissies van onverbrande koolwaterstoffen en CO eerder laag.

*PM-emissies*, veroorzaakt door de verbranding van residuele brandstof (HFO) in dieselmotoren, bestaan voornamelijk uit as en sulfaten (gerelateerd aan het asgehalte en zwavelinhoud van de brandstof) en in mindere mate uit roet en koolwaterstoffen. Nageschakelde ontstoppingstechnieken, zoals ESP, worden momenteel verder ontwikkeld en op punt gesteld voor grotere motoren. Belangrijk hierbij is het verschil in elektrische eigenschappen van de stofdeeltjes in vergelijking met stofdeeltjes uit een stookinstallatie: de vormingsomstandigheden (zuurstofgehalte en temperatuur) zijn immers heel verschillend.

Het gehalte aan *SO<sub>2</sub>-emissies* is direct verbonden aan de brandstof die wordt gebruikt en het zwavelgehalte ervan. De eenvoudigste manier om de emissies te reduceren is dan ook kiezen voor een brandstof met een lager zwavelgehalte. Hoewel beperkt, worden verschillende kleine en middelgrote installaties voor ontzwaveling gebruikt bij dieselmotoren. Ook hier is de ervaring dus nog beperkt.

De ontwikkelingen bij primaire maatregelen voor reductie van NO<sub>x</sub> hebben er de laatste jaren voor gezorgd dat de NO<sub>x</sub>-emissies sterk verlaagd zijn. Algemeen gezien worden primaire maatregelen verkozen boven secundaire maatregelen omwille van de hoge kostprijs van deze laatste. Desondanks blijven de NO<sub>x</sub>-emissies van dieselmotoren zonder nageschakelde reductie doorgaans te hoog: verdere ontwikkelingen naar primaire maatregelen toe zijn dus nodig. Mogelijke primaire maatregelen zijn toevoeging van water, Miller cyclus, of vertraagde brandstofinjectie. Wanneer gas beschikbaar is, is een omschakeling van de motor van diesel naar gas een mogelijkheid. Een mogelijke secundaire reductiemethode voor NO<sub>x</sub> bij dieselmotoren is SCR.

De brandstofkwaliteit kan een belangrijke invloed hebben op de reductiemethoden voor NO<sub>x</sub> die gebruikt kunnen worden. Bij kleinere, lage-snelheid motoren kunnen rookgasrecirculatie en hoge druk injectie (elektronisch gecontroleerd) gebruikt worden om NO<sub>x</sub>-emissies te beperken. Het 'Miller-concept' (vroegtijdige sluiting van de luchtinlaatkleppen, waardoor de temperatuur in de cilinder lager wordt en de NO<sub>x</sub>-vorming beperkt) en speciale brandstofinjectie zijn toepasbaar op grotere, moderne motoren.

- **Gas- en dual-fuel motoren (gasmodus)**

Gasmotoren worden vandaag de dag bijna standaard als lean-burn motoren uitgerust: er wordt gewerkt bij een lagere brandstof/lucht-verhouding waardoor de verbrandingstemperatuur lager blijft en de NO<sub>x</sub>-vorming beperkt. Wanneer bij een lean-burn gasmotor bij nog 'leanere' of armere omstandigheden gewerkt wordt, spreekt men van 'enhanced lean-burn'. Hierdoor zijn NO<sub>x</sub>-waarden verder te reduceren, maar stijgt de brandstofconsumptie (lagere efficiëntie). Omwille van het stijgend brandstofverbruik, stijgen ook de CO<sub>2</sub>-emissies en emissies van onverbranden zoals CH<sub>4</sub>.

Onder bepaalde omstandigheden wordt SCR toegepast voor verdere reductie van NO<sub>x</sub>. In dit geval kan de motor in rijkere (dus hogere verhouding brandstof/lucht) omstandigheden werken, omdat NO<sub>x</sub>-reductie nog nageschakeld plaatsvindt.

Voor wat betreft NO<sub>x</sub>-emissies liggen de cijfers van leveranciers grotendeels in de lijn van de aanbevelingen van de werkgroep. Tabel 19 geeft een overzicht van de aanbevelingen van de werkgroep.



Tabel 19: Voorgestelde emissiegrenswaarden bij 15% O<sub>2</sub> (5% O<sub>2</sub>) voor NO<sub>x</sub> door verbranding in stationaire motoren (EGTEI stationary engines sub-group, 2008)

Motor kenmerken		EGW voorstel 1 Technisch mogelijk (kost geen criterium)	EGW voorstel 2 Technisch mogelijk en realistisch (kosten)	EGW voorstel 3 Wat nu 'gangbaar' is.
Gasmotoren > 1 MW <sub>th</sub>				
Ottomotoren, alle gasvormige brandstoffen	35 (90) SCR met hoge efficiëntie + goede gaskwaliteit	95 (250) Verbeterde lean burn Vb. combi technieken (tot 3% meer brandstof!)	190 (500) Lean burn	
Dual Fuel motoren > 1 MW <sub>th</sub>				
Gasmodus				
	35 (90) SCR met hoge efficiëntie + goede gaskwaliteit	190 (500) Verbeterde lean burn vb. in combinatie met andere primaire maatregelen (tot 3% meer brandstofge- bruik)	380 (1010) Lean burn	
Vloei- bare brandstof modus	1-20 MW <sub>th</sub>	225 (600) SCR met efficiëntie ±90%	750 (2000) SCR met eff. ±60-65%	1850 / 2000 (4930 / 5330) Primaire maatregelen <sup>(1)</sup>
	> 20 MW <sub>th</sub>	225 (600) SCR met efficiëntie ±90%	450 (1200) SCR met eff. ±75-80%	1850 / 2000 (4930 / 5330) Primaire maatregelen <sup>(1)</sup>

<b>Motor kenmerken</b>	<b>EGW voorstel 1 Technisch mogelijk (kost geen criterium)</b>	<b>EGW voorstel 2 Technisch mogelijk en realistisch (kosten)</b>	<b>EGW voorstel 3 Wat nu 'gangbaar' is.</b>
Dieselmotoren > 5 MW <sub>th</sub>			
< 300 rpm en 300 – 1200 rpm			
5 – 20 MW <sub>th</sub>	HFO en bio-olie	225 (600) SCR met eff. ±85-90%	1300 / 1600 (3460 / 4260) Primaire maatregelen <sup>(2)</sup>
	LFO en aardgas	150 (400) SCR met eff. >90%	1300 / 1600 (3460 / 4260) Primaire maatregelen <sup>(2)</sup>
> 20 MW <sub>th</sub>	HFO en bio-olie	190 (500) SCR met eff. ±85-90%	750 / 1850 (2000 / 4930) SCR met eff. ±60% / Primaire maatregelen <sup>(3)</sup>
	LFO en aardgas	150 (400) SCR met eff. >90%	750 / 1850 (2000 / 4930) SCR met eff. ±60% / Primaire maatregelen <sup>(3)</sup>
> 1200 rpm			
Alle dieselmotoren			
	130 / 150 (340 / 400) SCR met eff. ±85/80%	190 (500) SCR met eff. ±80%	750 / 900 (2000 / 2400) Primaire maatregelen <sup>(4)</sup>
<p><sup>(1)</sup> Geoptimaliseerde low NO<sub>x</sub> motor, bijvoorbeeld met toepassing van de Miller cyclus of vertraagde brandstofinjectie. De lagere waarde staat voor een verder doorgedreven aanpak, met daardoor hoger brandstofverbruik.</p> <p><sup>(2)</sup> Mogelijke primaire maatregelen zijn toevoeging van water, Miller Cyclus, of vertraagde brandstofinjectie. De waarde 1300 staat voor een geavanceerde Miller toepassing of waterinjectie, met hoger brandstofgebruik tot gevolg.</p> <p><sup>(3)</sup> Geoptimaliseerde low NO<sub>x</sub> werking, bijvoorbeeld met toepassing van de Miller cyclus of vertraagde brandstofinjectie. De lagere waarde staat voor een verder doorgedreven aanpak, met een hoger brandstofverbruik tot gevolg.</p> <p><sup>(4)</sup> Geoptimaliseerde low NO<sub>x</sub> werking, bijvoorbeeld met toepassing van de Miller cyclus of vertraagde brandstofinjectie. De lagere waarde staat voor een verder doorgedreven aanpak, met een hoger brandstofverbruik tot gevolg.</p>			

## HOOFDSTUK 5

# SELECTIE VAN DE BESTE BESCHIKBARE TECHNIEKEN

In dit hoofdstuk evalueren we de milieuvriendelijke technieken uit hoofdstuk 4 naar hun technische haalbaarheid, milieu-impact en economische haalbaarheid, en geven we aan of de aangehaalde milieuvriendelijke technieken al dan niet als BBT aanzien kunnen worden voor nieuwe, kleine en middelgrote stookinstallaties, stationaire motoren en gasturbines.

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 Methodiek

In dit hoofdstuk wordt elk van 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, energie, geluid, ...), maar ook de technische haalbaarheid en de economische aspecten worden beschouwd.<sup>30</sup> Dit maakt het mogelijk een integrale evaluatie te maken, conform de definitie van BBT (cf. Hoofdstuk 1). De analyse gebeurt telkens op niveau van individuele technieken. Combinaties van technieken worden dus niet als dusdanig geëvalueerd.

### → 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

watervbruik: hergebruik van afvalwater en beperking van het totale watervbruik;

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;

chemicaliën: invloed op de gebruikte chemicaliën en de hoeveelheid;

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.

<sup>30</sup> Zie de opmerking van Essenscia in bijlage 5.

### → Economische haalbaarheid

- "+": de techniek werkt kostenbesparend;
- "0": de techniek heeft een verwaarloosbare invloed op de kosten;
- "-": de techniek leidt tot een verhoging van de kosten, de bijkomende kosten worden draagbaar geacht voor de sector (d.i. voor een gemiddeld bedrijf) en staan in een redelijke verhouding ten opzichte van de gerealiseerde milieuwinst;
- "- -": de techniek leidt tot een verhoging van de kosten, de bijkomende kosten worden niet draagbaar geacht voor de sector (d.i. voor een gemiddeld bedrijf), of staan niet in een redelijke verhouding ten opzichte van de gerealiseerde milieuwinst.

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 16:

#### 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 milieucompartimenten (stap 2). Door een afweging van de effecten op de verschillende milieucompartimenten 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:
  - de verschuiving van een minder controleerbaar naar een meer controleerbaar compartiment (bijvoorbeeld van lucht naar afval);
  - relatief grotere reductie in het ene compartiment ten opzichte van toename in het andere compartiment;
  - de wenselijkheid van reductie gesteld vanuit het beleid; onder andere afgeleid uit de milieukwaliteitsdoelstellingen voor water, lucht, ... (bijvoorbeeld "distance-to-target" benadering).

#### 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 en haalbaar zijn voor de bedrijven (stap 3). Deze beoordeling kan onder meer gebaseerd zijn op:

- i) Kosteneffectiviteit van de maatregel,
- ii) Procentuele kostenstijging als gevolg van een bepaalde maatregel,
- iii) BBT-selecties uitgevoerd in andere (buitenlandse) vergelijkbare studies, en
- iv) Ervaring van exploitanten en adviezen gegeven door het begeleidingscomité

In deze studie is, in samenspraak met het begeleidingscomité, gekozen om (waar mogelijk) kosteneffectiviteit en procentuele kostenstijging als beoordelingscriteria te gebruiken. Wanneer geen of onvoldoende kosteninformatie beschikbaar is, wordt voornamelijk naar toepassingen in het buitenland gekeken.

### 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.

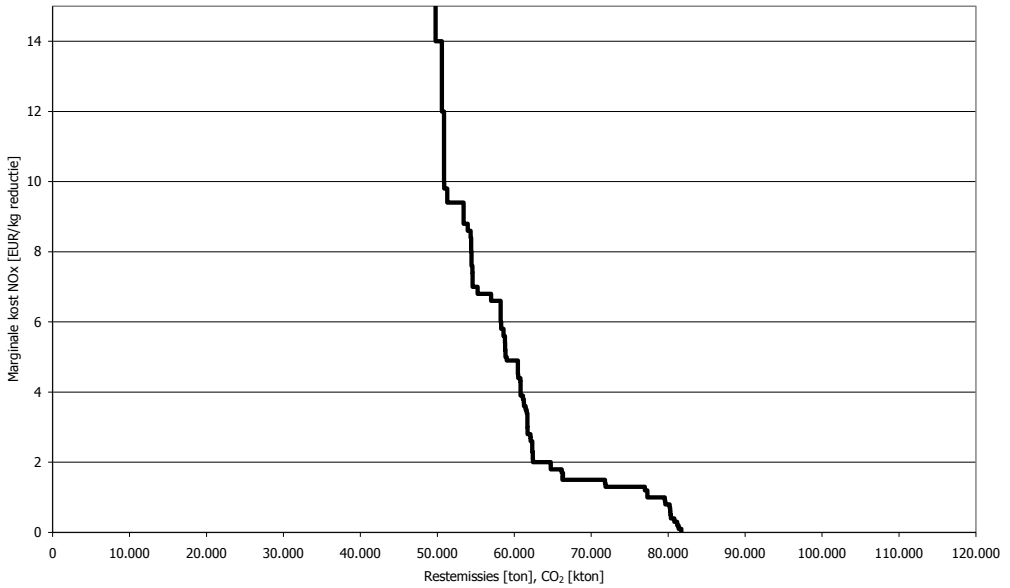
In de BBT-studies wordt hiervoor doorgaans gewerkt met de door het Nederlandse ministerie VROM gepubliceerde *indicatieve referentiewaarden*. Dit zijn een soort standaarden voor de beoordeling van de kosteneffectiviteit van maatregelen die de uitstoot van NO<sub>x</sub>, stof en SO<sub>2</sub> moeten terugdringen. Deze waarden zijn afgeleid van een inventarisatie van de kosteneffectiviteit van concrete, reeds (deels) uitgevoerde maatregelen door bedrijven in Nederland. Deze waarden zijn momenteel in herziening. De herziene waarden werden nog niet gepubliceerd.

Tabel 20: Referentiewaarden voor het beoordelen van kosteneffectiviteit van een maatregel (VROM, 2001)

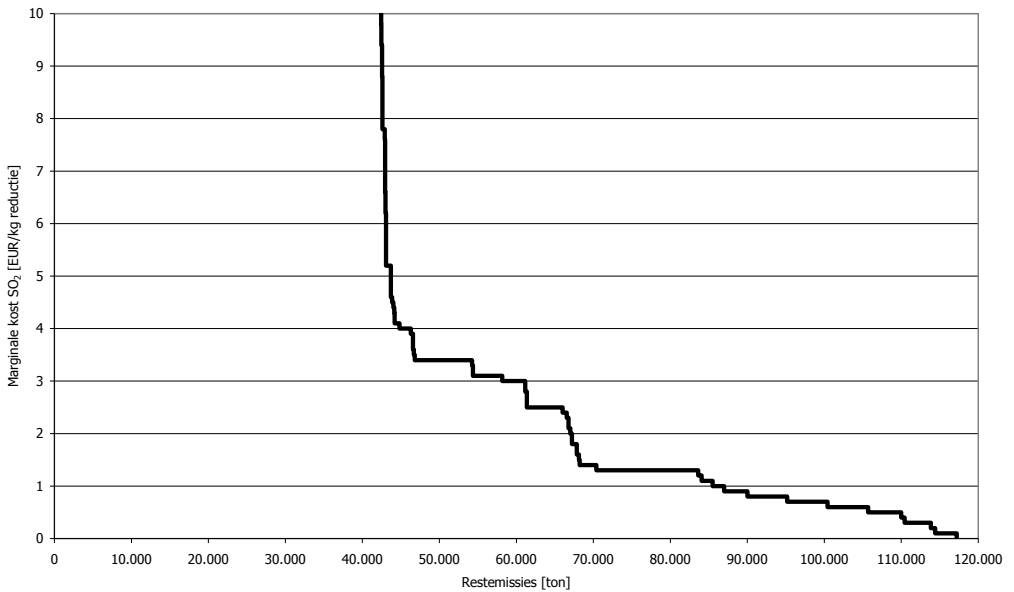
Polluent	Indicatieve referentiewaarde (€/kg reductie)
NO <sub>x</sub>	5
SO <sub>2</sub>	2,5
stof	2,5

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 (VITO-Ecolas, 2005). Een kostencurve gaat voor één polluent 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. 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 onevenredig grote toename van de kosten.

### NO<sub>x</sub> kostencurve Vlaanderen



### SO<sub>2</sub> kostencurve Vlaanderen



Figuur 15: Kostencurven opgesteld voor de inschatting van de potentiële NO<sub>x</sub>-(boven) en SO<sub>x</sub>-(onder)-reductie voor Vlaanderen (VITO-Ecolas, 2005)

Voor de afweging van BBT wordt gewerkt met een scenario dat beide studies combineert. Hierbij vertrekken



we van de VROM referentiewaarden en hanteren een spreiding naar boven, gebaseerd op de knikpunten uit de kostencurven. De toetsingscriteria liggen hierbij dan tussen €5-7/kg NO<sub>x</sub> verwijderd en €2,5-3,5/kg SO<sub>2</sub> verwijderd. Voor stof wordt hetzelfde scenario 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 en niet weerhouden als BBT. In het geval de kosteneffectiviteit lager ligt dan de onderste waarde van deze range, wordt de techniek wel als kosteneffectief beschouwd. Wanneer de kosteneffectiviteit zich binnen de range bevindt, zal de kosteneffectiviteit geval per geval geëvalueerd moeten worden.

Momenteel is men in Nederland volop bezig de laatste hand te leggen aan een rapport met herziene indicatieve referentiewaarden voor kosteneffectiviteit. Voor elk van de polluenten liggen deze referentiewaarden (ranges) hoger dan de momenteel gehanteerde ranges. Dit wil zeggen dat technieken sneller kosteneffectief zouden worden. Het is duidelijk dat dit een belangrijk effect kan hebben op de BBT-conclusies. Aangezien dit rapport bij opstellen van deze studie nog niet gepubliceerd is, blijven de oudere ranges (zoals hierboven vermeld) als referentie gebruikt.

Als achtergrondinformatie worden hieronder ook andere kosten opgelijst welke als referentie kunnen worden gebruikt. Van deze data maken we hier echter geen gebruik om conform de voorgaande studies te blijven (cfr. BBT verbranding van hernieuwbare brandstoffen).

#### Externe kosten

ECN baseert zijn berekening van de externe kosten op de Extern-E methode uit het NEEDS project. In het rapport zijn de totale schadekosten van NO<sub>x</sub>, PM<sub>coarse</sub>, PM<sub>2.5</sub> en SO<sub>2</sub> berekend voor Nederland en EU-27 en verdisconteerd naar €<sub>2008</sub>.

Tabel 21: Externe kost van impact van de gegeven polluenten bij een verschillende schoorsteen/emissie hoogte (de Bruyn et al, 2010)

(€2008 per ton emissie)	Laag	Onbekend	Hoog
<b>Gemiddelde EU-27</b>			
NO <sub>x</sub>	9 643,11	9 644,31	7 332,05
PM <sub>co</sub>	2 029,12	1824,81	675,89
PM <sub>2.5</sub>	35 833,42	33 791,57	17 073,35
SO <sub>2</sub>	9 274,64	9 274,00	8 485,06
<b>Nederland</b>			
NO <sub>x</sub>	10 570,76	10 586,38	8 646,82
PM <sub>co</sub>	3 857,05	3 845,65	1 960,61
PM <sub>2.5</sub>	65 558,70	64 752,80	29 925,38
SO <sub>2</sub>	15 223,47	15 379,52	12 428,16

#### Preventiekosten

De schaduwrijzen voor de individuele stoffen NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub> zijn gebaseerd op de verwachte NEC-doelen voor 2020 en verschillende bronnen voor marginale kosten (ECN/MNP, 2006 en IIASA-data).

Voor **NO<sub>x</sub>** schat ECN de preventiekost (5 à 10 €/kg NO<sub>x</sub>) in op basis van een aantal recente studies i.v.m. maatregelen nodig voor het behalen van de beleidsdoelen<sup>31</sup>.

Voor **SO<sub>2</sub>** wordt gesteld dat "op basis van de beschikbare gegevens (ECN, MNP, IIASA) hun expert judgement is dat de marginale reductiekosten van het behalen van het NEC-doel in 2020 tussen de €5/kg SO<sub>2</sub> en €10/kg SO<sub>2</sub> liggen".

Voor **PM<sub>10</sub>** en **PM<sub>2,5</sub>** bestaan geen emissiedoelen, maar wel Europese luchtkwaliteitsnormen die sinds 2007 opgenomen zijn in de Nederlandse wetgeving. Het gaat hierbij om een beperking van de concentraties fijn stof.

Wat betreft de kosteneffectiviteit is een criterium opgenomen in de NeR (SenterNovem, 2009): maatregelen duurder dan €2,3 per kg PM vermeden zijn niet verplicht. Deze referentiewaarde is inmiddels verouderd. Studies hebben verschillende maatregelen in beeld gebracht om de emissie van PM<sub>10</sub> te verminderen met hogere kosten dan €2,3 per kg PM vermeden. Om tot een inschatting voor de preventiekosten te komen, moet echter gekeken worden naar de marginale kosten van de duurste maatregelen die moeten worden ingezet om de luchtkwaliteitsdoelstellingen te halen. Hier komt meteen een praktisch probleem kijken: er is geen simpele vertaalslag mogelijk tussen marginale wijzigingen in emissies (in kg) en concentraties (µg/m<sup>3</sup>).

Wel wordt ter indicatie een alternatieve waarde voor de preventiekosten van €50/kg in de tabellen vermeld. Deze schatting is gebaseerd op de kosteneffectiviteit van ingezette maatregelen in de industrie. Waargenomen kosten van emissiereductie in de transportsector zijn hoger dan €50/kg terwijl de kosten in de landbouw lager lijken te zijn.

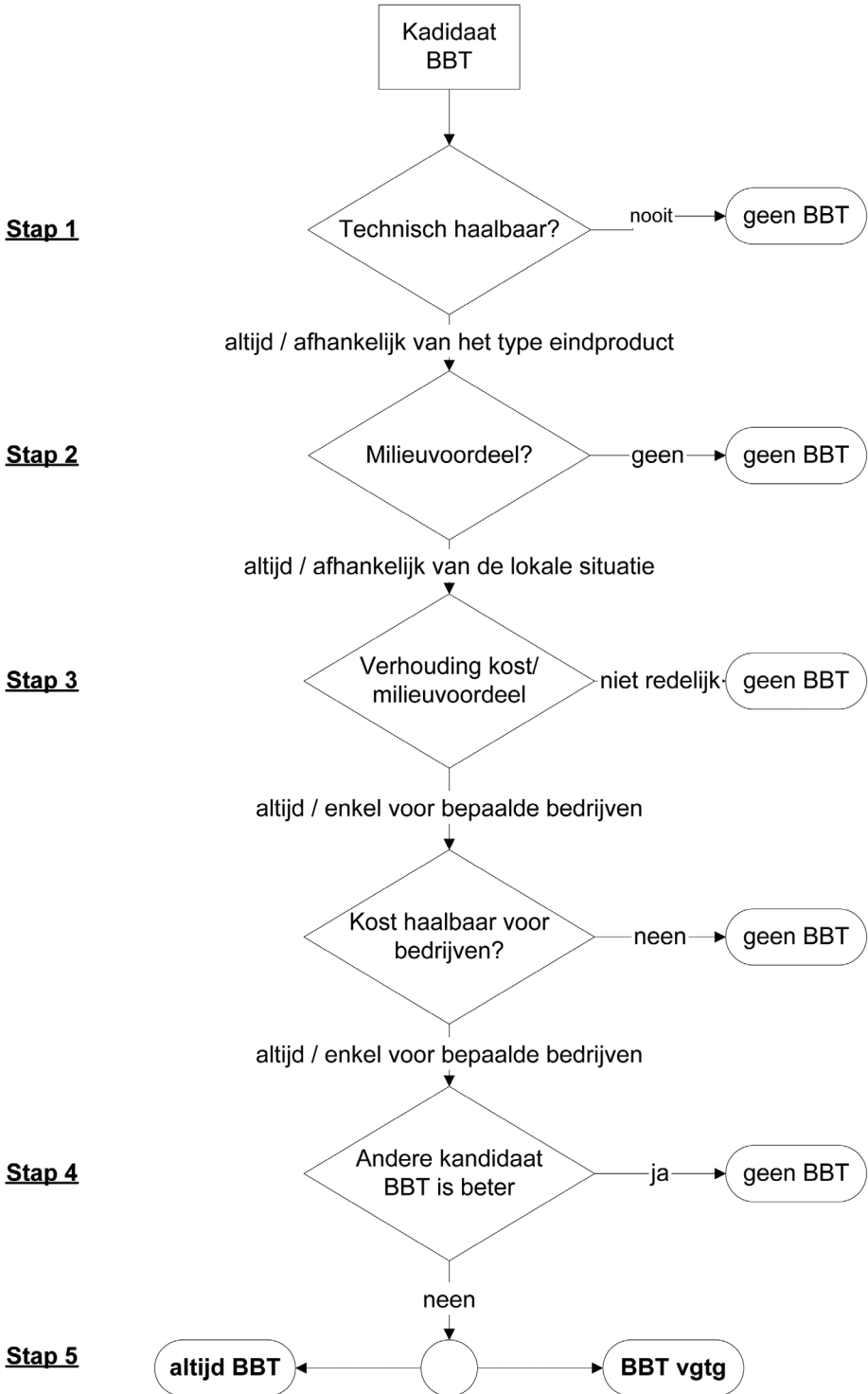
Tabel 22: Schaduwrijzen op basis van preventiekosten (de Bruyn et al, 2010)

Polluent	Schaduwprijs €/kg (centrale waarde) <sup>(a)</sup>
NO <sub>x</sub>	5-10 (9)
SO <sub>2</sub>	5-10 (5)
PM <sub>10</sub>	2,3 <sup>(b)</sup> -50 <sup>(c)</sup>
<sup>(a)</sup> Bepaald aan de hand van karakterisatiefactoren die de onderliggende samenhang van de stoffen weergeven <sup>(b)</sup> Oud beleid Nederland <sup>(c)</sup> Nieuw beleid Nederland in ontwikkeling	

#### 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.

<sup>31</sup> <http://www.ecn.nl/docs/library/report/2008/e08020.pdf> en <http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/773001038.pdf>



Figuur 16: Selectie van BBT op basis van scores voor verschillende criteria

## 5.2 Economische analyse van technieken

Voor de BBT-evaluatie van een aantal maatregelen met significante meerkost (o.a. end-of-pipe technieken, gebruik van gasolie verwarming i.p.v. residuele brandstof), is de economische haalbaarheid (kostenefficiëntie en haalbaarheid) (stap 3) een kritische factor. Om deze economische haalbaarheid beter te kunnen inschatten is voor deze maatregelen een economische analyse uitgevoerd. Deze economische analyse omvat het bepalen van de specifieke meerkost en de kosteneffectiviteit. Om een inschatting te maken van de haalbaarheid wordt de procentuele kostenstijging, dus de meerprijs, bekeken ten opzichte van de kost van de installatie op zich.

### 5.2.1 Keuze van de referentie-installatie voor kostenevaluatie

De inschatting van de meerprijs en de kosteneffectiviteit gebeurt steeds t.o.v. een referentie-installatie. Deze referentie-installaties beschouwen we als technisch en economisch haalbaar voor nieuwe installaties (een minimum BBT). Eventuele verdere reducties d.m.v. end-of-pipe technieken of door overschakeling van residuele brandstoffen (1%S) op gasolie verwarming (0,1%S) of van gasolie verwarming naar gasolie verwarming extra (0,005%S) vragen een verdere economische analyse. Op basis van de algemene bevindingen in hoofdstuk 4 (zie paragraaf 4.3), wordt de referentie-installatie voor de verschillende installaties en brandstoffen als volgt

Tabel 23: Overzicht van referentie-installaties en haalbare emissiewaarden gebruikt in de economische analyses

Type installatie	Polluent	Vermogen	Referentie emissieniveau	Techniek	Bronnen
Stookinstallatie gas (3% O <sub>2</sub> )	NO <sub>x</sub>	300 kW <sub>th</sub> – 20 MW <sub>th</sub>	80 mg/Nm <sup>3</sup> OPM	Advanced low NO <sub>x</sub> -brander, bijpassend ketelontwerp	Leveranciersinformatie, Goovaerts et al 2008, Derden et al 2005
		≥ 20 MW <sub>th</sub> – 50 MW <sub>th</sub>	100 mg/Nm <sup>3</sup> OPM		
Stookinstallaties residuele brandstoffen (3% O <sub>2</sub> )	NO <sub>x</sub>	300 kW <sub>th</sub> – 50 MW <sub>th</sub>	525 mg/Nm <sup>3</sup>	Advanced low NO <sub>x</sub> -brander, bijpassend ketelontwerp	Derden et al 2005, Goovaerts et al 2008
		300 kW <sub>th</sub> – 50 MW <sub>th</sub>	1700 mg/Nm <sup>3</sup>		
Stookinstallaties gasolie verwarming (3% O <sub>2</sub> )	stof	300 kW <sub>th</sub> – 50 MW <sub>th</sub>	100 mg/Nm <sup>3</sup>	Optimale verbranding	Leveranciersinformatie, Derden et al 2005
		300 kW <sub>th</sub> – 5 MW <sub>th</sub>	185 mg/Nm <sup>3</sup>	Advanced low NO <sub>x</sub> -brander, bijpassend ketelontwerp	
	> 5 MW <sub>th</sub> – 50 MW <sub>th</sub>	230 mg/Nm <sup>3</sup>	0,1 %S gasolie verwarming		
	300 kW <sub>th</sub> – 50 MW <sub>th</sub>	170 mg/Nm <sup>3</sup>	Optimale verbranding		
	300 kW <sub>th</sub> – 50 MW <sub>th</sub>	5 mg/Nm <sup>3</sup>	Optimale verbranding		
Stookinstallatie steenkool (6% O <sub>2</sub> )	NO <sub>x</sub>	300 kW <sub>th</sub> – 50 MW <sub>th</sub>	450 mg/Nm <sup>3</sup> *	Optimale verbranding	Meetrapporten (via BC)*, leveranciersinformatie*
	SO <sub>2</sub>	300 kW <sub>th</sub> – 50 MW <sub>th</sub>	1250 mg/Nm <sup>3</sup>	S-gehalte kolen	
Gasmotoren (5% O <sub>2</sub> )	NO <sub>x</sub>	300 kW <sub>th</sub> – 50 MW <sub>th</sub>	300 mg/Nm <sup>3</sup> OPM2	Optimale verbranding	EGTEI werkgroep SCI, IIASA, RAINS
		Alle	500 mg/Nm <sup>3</sup>	Lean burn	
Dieselmotoren – zware fuel (5% O <sub>2</sub> )	NO <sub>x</sub>	Alle	5000 mg/Nm <sup>3</sup>	Miller, optimale verbranding	EGTEI werkgroep stationaire motoren
	SO <sub>2</sub>	Alle	1500 mg/Nm <sup>3</sup>	Zware fuel 1% S	
Dieselmotoren gasolie (5% O <sub>2</sub> )	Stof	Alle	150 mg/Nm <sup>3</sup>	Optimale verbranding	Goovaerts et al 2002, Goovaerts et al 2008, BREF LCP
		Alle	4000 mg/Nm <sup>3</sup>	Miller, optimale verbranding	
		Alle	150 mg/Nm <sup>3</sup>	Gasolie, 0,1% S	
Dieselmotoren – gasolie extra (5% O <sub>2</sub> )	NO <sub>x</sub>	Alle	4000 mg/Nm <sup>3</sup>	Miller, optimale verbranding	EGTEI werkgroep stationaire motoren, Goovaerts et al 2002, Goovaerts et al 2008, BREF LCP, meetgegevens leveranciers (stof)
	SO <sub>2</sub>	Alle	10. mg/Nm <sup>3</sup>	Gasolie extra 0,005% S	
Gasturbines (15 % O <sub>2</sub> )	Stof	Alle	50 mg/Nm <sup>3</sup>	Optimale verbranding	Goovaerts et al 2002, Goovaerts et al 2008, BREF LCP, meetgegevens leveranciers (stof)
		NO <sub>x</sub>	Alle	50 mg/Nm <sup>3</sup>	

- <sup>OPM1:</sup> Voor gasgestookte installaties is het emissieniveau voor installaties met een groot vermogen hoger dan voor installaties met een klein vermogen. Dit lijkt op het eerste zicht nogal vreemd. Leveranciers geven echter aan dat dit te maken heeft met verschillen in bijvoorbeeld de technieken die (kunnen) worden toegepast bij verschillende vermogens: het gaat bijvoorbeeld bij beiden wel over lage NO<sub>x</sub>-branders, maar de eigenlijke werking ervan verschilt. Daarnaast geldt uiteraard ook dat nieuwe ontwikkelingen enkel zullen gebeuren wanneer de vraag naar een bepaald vermogen/techniek voldoende groot is. Dit kan uiteraard ook het geval zijn bij andere installaties, brandstoffen, ...
- <sup>OPM2:</sup> Een bron (leverancier) maakt melding van lagere, haalbare emissieniveaus, maar dit bij een zeer specifieke combinatie van keteltype en kolensamenstelling. Bij deze omstandigheden zouden emissieniveaus van 20-90 mg stof/Nm<sup>3</sup> haalbaar zijn. Aangezien dit de enige bron is die hier melding van heeft gemaakt, wordt toch geopteerd als referentieniveau het emissieniveau te gebruiken zoals ook wordt gebruikt in internationale werkgroepen zoals EGTEI, namelijk ongeveer 300 mg/Nm<sup>3</sup>.

De haalbare emissiewaarden zoals aangegeven in Tabel 23 voor de verschillende referentie-installaties zijn allemaal gebaseerd op primaire maatregelen.

Het definiëren van het emissieniveau van de referentie-installatie kan impact hebben op de berekende kostenefficiëntie van een techniek: hoe hoger het emissieniveau van de referentie-installatie, hoe groter in sommige gevallen de jaarlijkse reductie en dus hoe gunstiger de kosteneffectiviteit kan zijn. Het is dan ook belangrijk uit te gaan van een emissieniveau dat haalbaar is met wat vandaag de dag voor nieuwe installaties de doorsnee techniek is die in of na een installatie wordt toegepast.

### 5.2.2 Gebruikte basisgegevens en scenario's

De basisinformatie gebruikt in de berekeningen zijn verwijderingspercentages en kostprijzen afkomstig van EMIS. Indien daar geen informatie beschikbaar is, worden de fiches van Infomil gebruikt als basis.

Verschillende scenario's worden bekeken:

- Draaiuren: 2000 uren versus 6000 uren;
- Vermogens: 0,3 MW<sub>th</sub>, 1 MW<sub>th</sub>, 5 MW<sub>th</sub>, 20 MW<sub>th</sub> en 50 MW<sub>th</sub>;
- De verschillende kostprijzen liggen soms nogal ver uit elkaar: best case versus worst case scenario.

Waar beschikbaar werden werkelijke emissiegegevens gebruikt, zo niet wordt gebruik gemaakt van de literatuurgegevens.

End-of-pipe technieken voor reductie van emissies worden momenteel zelden of nooit toegepast bij kleine en middelgrote stookinstallaties. De motivatie die hiervoor wordt gegeven is enerzijds toe te wijzen aan de huidige regelgeving: de emissiegrenswaarden vereisen vaak geen secundaire maatregelen. Anderzijds wordt de kost van de technieken vaak als beperking vermeld. Het is dan ook moeilijk om kostprijsgegevens vast te krijgen: reële toepassingen zijn meestal beperkt.

De kostprijsgegevens zoals vermeld in hoofdstuk 4, zijn afkomstig van verschillende referenties, zoals Emis, Infomil, de BBT studie voor de verbranding van hernieuwbare brandstoffen (2008), de BBT studie voor stookinstallaties, stationaire motoren en gasturbines (2002),... Ook literatuurgegevens worden gebruikt. De verzamelde kostprijsgegevens liggen in de meeste gevallen ver uit elkaar en geven soms dan ook een ander resultaat bij de bepaling van de kosteneffectiviteit en de procentuele kostenstijging. Daarom werden verschillende scenario's doorgerekend. De resultaten kunnen worden geraadpleegd op de EMIS website. In de tabellen worden de berekeningen weergegeven onder de vorm van een 'lage kost' en 'hoge kost' scenario. Zoals al opgemerkt in voorgaande hoofdstukken is het belangrijk te vermelden dat de aard van de kostprijsgegevens (uitgedrukt per eenheid rookgasdebiet) bepalend is voor het resultaat van de berekeningen. Omdat de kostprijzen op deze manier zijn uitgedrukt, is een techniek relatief gezien even duur voor elk vermogen. Naar onze mening leidt dit er ook toe dat de kost in feite een onderschatting zal vormen voor de kleine vermogens en een overschatting voor de grote vermogens (zie ook bronnen zoals (Kroon, et al., 2008)). De resultaten van de berekeningen moeten dan ook geïnterpreteerd worden met dit in gedachte.

Voor 'fuel switch' van de ene brandstof naar een schonere brandstof, werden brandstofprijzen gebruikt afkomstig van de Federale Overheidsdienst Economie. Voor de waarden en gevoeligheidsanalyses, zie 5.2.5.

### 5.2.3 Berekening meerkost, milieuwinst en kosteneffectiviteit

Om een economische evaluatie mogelijk te maken, wordt de meerkost en de milieuwinst van de verschillende end-of-pipe technieken en van een overschakeling van residuele brandstoffen naar gasolie verwarming (extra) (van zware naar (extra)lichte stookolie) of van gasolie verwarming naar gasolie verwarming extra, ten opzichte van de referentie-installatie berekend voor de verschillende scenario's.

Voor de berekening van de kosteneffectiviteit moet voor verschillende vermogens de totale jaarlijkse kost berekend worden alsook de jaarlijkse milieuwinst en dit ten opzichte van de referentie-installatie. Zoals eerder vermeld, wordt in dit gedeelte enkel de kosteneffectiviteit van de end-of-pipe technieken en van een overschakeling van residuele brandstoffen naar gasolie verwarming (extra)/van gasolie verwarming naar gasolie verwarming extra berekend: voor de overige (primaire) maatregelen gaan we er van uit dat deze standaard zijn of geen significante meerkost met zich meebrengen.

De berekeningen van de kosteneffectiviteit zijn te raadplegen op de EMIS website. In de tabellen wordt de berekende waarde ook al getoetst aan de referentiewaarden (zie 5.2.4 Toetsing kosteneffectiviteiten en bespreking): het resultaat van deze vergelijking wordt getoond aan de hand van een kleurcode.

Voor NO<sub>x</sub>:  
 < €5/kg NO<sub>x</sub> verwijderd: **groen** = kosteneffectieve techniek  
 €5-7/kg NO<sub>x</sub> verwijderd: **oranje** = geval per geval te evalueren  
 > €7/kg NO<sub>x</sub> verwijderd: **rood** = niet kosteneffectief

Voor SO<sub>2</sub> en PM:  
 < €2,5/kg SO<sub>2</sub> verwijderd: **groen** = kosteneffectieve techniek  
 €2,5-3,5/kg SO<sub>2</sub> verwijderd: **oranje** = geval per geval te evalueren  
 > €3,5/kg SO<sub>2</sub> verwijderd: **rood** = niet kosteneffectief

In de tabellen op EMIS worden de berekende kosteneffectiviteiten weergegeven, respectievelijk voor vaste, vloeibare en gasvormige brandstoffen. De berekening gebeurt telkens met een afschrijvingsperiode van 10 jaar en een rente van 4%.

De gebruikte rente kan een punt van discussie vormen aangezien de referentiewaarden werden opgesteld met een rente van 10%. Om na te gaan hoe belangrijk de impact van het gebruikte percentage voor rente is op het resultaat, werden de berekeningen ook uitgevoerd met 10% als rente. De impact op het resultaat (het al dan niet kosteneffectief zijn van een bepaalde techniek ten opzichte van de gehanteerde toetsingswaarden) werd hier slechts erg beperkt door beïnvloed. Voor enkele technieken en scenario's (vermogen/draaiuren/brandstof) veranderde de beoordeling. Deze verandering omvat enkel kleine verschuivingen: bijvoorbeeld voor NO<sub>x</sub>, bij 5 MW en 2000 draaiuren stijgt de kosteneffectiviteit van 4,2 €/kg NO<sub>x</sub> verwijderd (groen) naar 5,1 €/kg NO<sub>x</sub> verwijderd (oranje). Een drastische verschuiving van een kosteneffectieve naar een niet kosteneffectieve techniek (van groen naar rood) is er niet.

Voor **dieselmotoren** werd ook gekeken naar de toepassing van roetfilters voor de reductie van stofemissies. Zoals aangehaald in hoofdstuk 4 zijn stationaire toepassingen van deze end-of-pipetechniek nog maar erg zelden terug te vinden. Aangezien toepassingen bij vrachtwagens (grotere vermogens) wel goed gekend zijn, wordt in het buitenland steeds vaker naar roetfilters gekeken voor reductie van stofemissies bij stationaire dieselmotoren. Om toch een idee te krijgen van de kosteneffectiviteit van deze techniek, werd met de verzamelde gegevens alsnog een berekening gemaakt. Voor een motor van 500 kW werd een kost van om en bij de 8000 euro opgegeven. Werkingskosten werden hierbij niet gespecificeerd, maar zijn naar alle waarschijnlijkheid wel nodig. Er wordt verondersteld dat deze jaarlijkse werkingskosten ongeveer 500 euro bedragen.



## 5.2.4 Toetsing kosteneffectiviteiten en bespreking

In Tabel 24 wordt een overzicht gegeven van de geëvalueerde technieken die als kosteneffectief kunnen worden beschouwd ten opzichte van de gehanteerde referentiewaarden wanneer we de berekeningen van kosteneffectiviteit in de verschillende scenario's bekijken. De resultaten worden weergegeven per brandstof, pollutent en draaiuren. Indien er een duidelijk verschil is in resultaten tussen het scenario met de laagste investeringskosten (LK) voor de technieken en dat met de hoogste investeringskosten (HK), wordt dit aangegeven (bij NO<sub>x</sub>-reducerende maatregelen is dit relevant). Op deze manier wordt de onzekerheid van de resultaten duidelijk. Indien een techniek niet kosteneffectief is, maar in de 'oranje' zone zit, wordt dit aangegeven met een asterisk (\*) bij de techniek.

De vermogens waarvoor de berekeningen gebeurd zijn vormen telkens de ondergrens van de ranges in de tabel. Er wordt dan ook telkens naar de resultaten voor het vermogen onderaan de range gekeken voor welke technieken kosteneffectief zijn. Voor de range 1-5 MW<sub>th</sub> wordt dus gekeken naar de resultaten voor 1 MW<sub>th</sub>, voor de range van 5-20 MW<sub>th</sub> wordt gekeken naar de resultaten van 5 MW<sub>th</sub>. Het resultaat, welke techniek kosteneffectief is, moet immers gelden voor de hele range.

Tabel 24: Overzicht van de als kosteneffectief beschouwde maatregelen

Stookinstallaties		NO <sub>x</sub>		SO <sub>2</sub>		Stof
Vaste fossiele brandstof		LK scenario	HK scenario	LK scenario	HK scenario	
< 1 MW	<4000 u	/	/			/
	>4000 u	→SCR	→SCR*			/
1- <5 MW	<4000 u	→SNCR	→SNCR			/
	>4000 u	→SNCR	→SNCR			→Multicycloon
	<4000 u	→SCR	→SCR*			→Stofwasser*
	>4000 u	→SNCR	→SNCR			→Multicycloon
20- <50 MW	<4000 u	→SNCR	→SNCR			→Multicycloon
	>4000 u	→SNCR	→SNCR			→Stofwasser
	<4000 u	→SCR	→SCR*			→Doekenfilter*
	>4000 u	→SNCR	→SNCR			→Multicycloon
Residuele brandstoffen (1% S)	<4000u	→SNCR	→SNCR			→Multicycloon
	>4000u	→SCR	→SCR*			→Stofwasser
	<4000u	→SNCR	→SNCR			→Multicycloon
	>4000u	→SCR	→SCR*			→Stofwasser
< 1 MW	<4000u	/	/			/
	>4000u	→SCR	→SCR*			/

1- <5 MW	<4000u	→SCR	/	Droog sorbent injectie	/
	>4000u	→SNCR →SCR	→SNCR →SCR*		
5- <20 MW	<4000u	→SNCR →SCR	→SNCR	→droog sorbent injectie	/
	>4000u	→SNCR →SCR	→SNCR →SCR*	→droog sorbent injectie	Multicycloon
20- <50 MW	<4000u	→SNCR →SCR	→SNCR	→droog sorbent injectie	Multicycloon
	>4000u	→SNCR →SCR	→SNCR →SCR	→droog sorbent injectie →natte wasser →droog sorbent injectie →natte wasser →halfnatte kalksorbitie	
<b>Gasolie (0,1% S)</b>		<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>SO<sub>2</sub></b>	<b>Stof</b>	
< 1 MW	<4000u	/	<b>LK scenario</b>	/	/
	>4000u	/	<b>HK scenario</b>	Droog sorbent injectie	/
1- <5 MW	<4000u	/		Droog sorbent injectie	/
	>4000u	→SCR	/	Droog sorbent injectie	/
5- <20 MW	<4000u	→SNCR →SCR	→SNCR	Droog sorbent injectie	/
	>4000u	→SNCR →SCR	→SNCR	Droog sorbent injectie	
20- <50 MW	<4000u	→SNCR →SCR	→SNCR*	/	/
	>4000u	→SNCR →SCR	→SNCR	Droog sorbent injectie	

Aardgas	NO <sub>x</sub> LK scenario	HK scenario	SO <sub>2</sub>	Stof
< 1 MW	<4000u		/	/
	>4000u			
1- <5 MW	<4000u		/	/
	>4000u	/		
5- <20 MW	<4000u	/	/	/
	>4000u	→SNCR →SCR	/	
20- <50 MW	<4000u	/	/	
	>4000u	→SNCR →SCR	→SNCR*	
<b>Stationaire motoren</b>				
<b>Gasmotor</b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>SO<sub>2</sub></b>	<b>Stof</b>	
< 1 MW	Advanced lean burn	/		
	→Advanced lean burn →SCR			
1- <5 MW	Advanced lean burn	/		/
	→Advanced lean burn →SCR			
5- <20 MW	Advanced lean burn	/		/
	→Advanced lean burn →SCR			

20- <50 MW	<2000u	→Advanced lean burn →SCR*	/			
	>2000u	→Advanced lean burn →SCR				
<b>Dieselmotor</b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>SO<sub>2</sub></b>	<b>Stof</b>		
Residuele brandstoffen (1%S)	→Late brandstofinjectie →SCR	Alle draaiuren	<1 MW <sub>th</sub> 1-<5 MW <sub>th</sub> 5-<20 MW <sub>th</sub>	Droog sorbent injectie		Roetfilter*
Alle vermogens		Alle draaiuren	20-<50 MW <sub>th</sub>	→Droog sorbent injectie →Natte wasser →Halfnatte kalksorbitie		
Gasolie (0,1%S)	→Late brandstofinjectie →SCR		/			/
Alle vermogens			<2000u			
			>2000u		Droog sorbent injectie Droog sorbent injectie Droog sorbent injectie →Droog sorbent injectie →Natte wasser →Halfnatte kalksorbitie*	
Gasolie extra (0,005%S)	→Late brandstofinjectie →SCR		/			/
Alle vermogens						

**Opmerking:** Voor SCR is de spreiding op de kostprijzen in het laagste en het hoogste scenario aanzienlijk. Afhankelijk van het scenario zullen de conclusies ook verschillen: in het scenario met de laagste prijzen zal SCR veel sneller kosteneffectief zijn dan in het scenario met de hoogste prijzen, zowel bij vaste als vloeibare brandstoffen. Voor andere technieken (stofmaatregelen, SO<sub>2</sub>-maatregelen) is het effect van deze scenario's meestal niet zo drastisch verschillend.

Voor SCR is het dus zeer afhankelijk van de kostprijzen waar mee gerekend wordt of de techniek al dan niet kosteneffectief is.

Zoals vermeld werden geen verdere berekeningen uitgevoerd voor gasturbines: alle leveranciers gecontacteerd tijdens deze studie alsook recente wetswijzigingen in het buitenland geven weinig of geen veranderingen aan. Ook voor andere gassen dan aardgas werden geen verdere gegevens verzameld en dus ook geen nieuwe berekeningen uitgevoerd.

### 5.2.5 Berekening procentuele kostenstijging en inschatting van de kostenhaalbaarheid

Voor het berekenen van de procentuele kostenstijging die verbonden is aan de verschillende maatregelen, moet de prijs voor een basis stookinstallatie bepaald worden. Hiervoor baseren we ons op informatie van gecontacteerde leveranciers (Viessmann, Weishaupt), literatuurgegevens en buitenlandse leveranciers (e.g. boilerhouse.com). De beschikbare kostprijsgegevens gaan ongeveer tot installaties van 20 MW. Omdat voorlopig verdere gegevens ontbreken werden de prijzen voor hogere vermogens bepaald op basis van de verhoudingen tussen de verschillende prijzen bij kleinere vermogens. De investeringskost voor installaties gestookt met gas, stookolie en steenkool werden gelijk verondersteld.

Naast de investeringskost voor de stookinstallatie moeten ook de operationele kosten ten gevolge van brandstofverbruik<sup>32</sup> mee in rekening worden gebracht. Deze operationele kost wordt berekend op basis van kostprijsgegevens zoals gebruikt in het Milieukostenmodel (European Commission, update 2009) en beschikbaar op de website van de Federale Overheidsdienst Economie<sup>33</sup>:

- Steenkool: 2,08 €/GJ
- Aardgas: 10,5 €/GJ
- Gasolie verwarming: 12,42 €/GJ
- Gasolie verwarming extra: 13,07 €/GJ
- residuele brandstoffen: 7,23 €/GJ

De jaarlijkse totale kost<sup>34</sup> (investeringskost, operationele kost, onderhoudskost) voor de end-of-pipetechniek werd dan vergeleken met de jaarlijkse totale kost (investeringskost, brandstofkost, ...) voor de stookinstallatie (procentueel). De resultaten hiervan worden weergegeven in onderstaande tabellen voor NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> en stof.

Voor stationaire motoren zijn deze berekeningen niet gebeurd: er werd geen informatie ter beschikking gesteld i.v.m. de investeringskost voor motoren.

<sup>32</sup> Onderhoudskosten werden niet beschikbaar gemaakt en kunnen dus niet verder in rekening worden gebracht. Brandstofkosten en andere operationele kosten zitten wel vervat in dit bedrag!

<sup>33</sup> <http://statbel.fgov.be/nl/statistiek/cijfers/energie/prijzen/>

<sup>34</sup> De berekende kosten gelden allemaal voor installaties met 6000 draaiuren, in vollast.

Tabel 25: Overzicht van de berekende % kostenstijging voor NO<sub>x</sub>

<b>0,3 MW, 6000 draaiuren</b>						
	<b>brandstof</b>	<b>TJK stook- installatie</b>	<b>TJK EOP LK scenario</b>	<b>% kosten- stijging</b>	<b>TJK EOP HK scenario</b>	<b>% kosten- stijging</b>
SNCR	aardgas	125722	2593	2,1%	2892	2,3%
	residuele	104532	2613	2,5%	2908	2,8%
	gasolie	138164	2595	1,9%	2882	2,1%
	steenkool	74530	2642	3,5%	3024	4,1%
SCR	aardgas	125722	2796	2,2%	4063	3,2%
	residuele	104532	2819	2,7%	3896	3,7%
	gasolie	138164	2791	2%	3882	2,8%
	steenkool	74530	2908	3,9%	5075	6,8%
<b>1 MW, 6000 draaiuren<sup>35</sup></b>						
	<b>brandstof</b>	<b>TJK stook- installatie</b>	<b>TJK EOP LK scenario</b>	<b>% kosten- stijging</b>	<b>TJK EOP HK scenario</b>	<b>% kosten- stijging</b>
SNCR	aardgas	336886	2811	0,8%	3806	1,1%
	residuele	266254	2578	1,0%	3859	1,4%
	gasolie	378358	2816	0,7%	3773	1,0%
	steenkool	166246	2975	1,8%	4247	2,6%
SCR	aardgas	336886	3487	1,0%	13543	4,0%
	residuele	266254	3565	1,3%	12987	4,9%
	gasolie	378358	3471	0,9%	12940	3,4%
	steenkool	166246	3861	2,3%	16917	10,2%
<b>5 MW, 6000 draaiuren</b>						
	<b>brandstof</b>	<b>TJK stook- installatie</b>	<b>TJK EOP LK scenario</b>	<b>% kosten- stijging</b>	<b>TJK EOP HK scenario</b>	<b>% kosten- stijging</b>
SNCR	aardgas	1451819	4065	0,3%	9044	0,6%
	residuele	1098659	4457	0,4%	9385	0,9%
	gasolie	1659179	4148	0,3%	8958	0,5%
	steenkool	598619	4949	0,8%	11334	1,9%
SCR	aardgas	1451819	7434	0,5%	67713	4,7%
	residuele	1098659	7824	0,7%	64937	5,9%
	gasolie	1659179	7414	0,4%	64702	3,9%
	steenkool	598619	9354	1,6%	84585	14,1%

<sup>35</sup> residuele = residuele brandstoffen, i.e. zware stookolie 1%S  
gasolie = gasolie verwarming, i.e. lichte stookolie 0,1%S

<b>20 MW, 6000 draaiuren</b>						
	<i>brandstof</i>	<i>TJK stookinstallatie</i>	<i>TJK EOP LK scenario</i>	<i>% kostenstijging</i>	<i>TJK EOP HK scenario</i>	<i>% kostenstijging</i>
SNCR	aardgas	5098528	8897	0,2%	28863	0,6%
	residuele	3685888	10598	0,3%	30399	0,8%
	gasolie	5927968	9211	0,2%	28488	0,5%
	steenkool	1685728	12597	0,7%	38239	2,3%
SCR	aardgas	5098528	22381	0,4%	270853	5,3%
	residuele	3685888	23973	0,7%	259747	7,0%
	gasolie	5927968	22230	0,4%	258807	4,4%
	steenkool	1685728	30112	1,8%	338341	20,1%
<b>50 MW, 6000 draaiuren</b>						
	<i>brandstof</i>	<i>TJK stookinstallatie</i>	<i>TJK EOP LK scenario</i>	<i>% kostenstijging</i>	<i>TJK EOP HK scenario</i>	<i>% kostenstijging</i>
SNCR	aardgas	12266451	18627	0,2%	68586	0,6%
	residuele	8734851	23418	0,3%	73146	0,8%
	gasolie	14340051	19572	0,1%	67862	0,5%
	steenkool	3734451	28494	0,8%	92851	2,5%
SCR	aardgas	12266451	52290	0,4%	677132	5,5%
	residuele	8734851	56619	0,6%	649367	7,4%
	gasolie	14340051	52017	0,4%	647017	4,5%
	steenkool	3734451	72018	1,9%	845852	22,6%



Tabel 26: Overzicht van de berekende % kostenstijging voor SO<sub>2</sub>

<b>0,3 MW, 6000 draaiuren</b>						
	<b>Brandstof</b>	<b>TJK stookin- stallatie</b>	<b>TJK EOP LK scenario</b>	<b>% kosten- stijging</b>	<b>TJK EOP HK scenario</b>	<b>% kosten- stijging</b>
droog- sorbent injectie	residuele	104532	336	0,3%	842	0,8%
	gasolie	138164	415	0,3%	456	0,3%
	Steenkool	74530	438	0,6%	950	1,3%
<b>1 MW, 6000 draaiuren</b>						
	<b>Brandstof</b>	<b>TJK stookin- stallatie</b>	<b>TJK EOP LK scenario</b>	<b>% kosten- stijging</b>	<b>TJK EOP HK scenario</b>	<b>% kosten- stijging</b>
droog- sorbent injectie	residuele	266254	1120	0,4%	2807	1,1%
	gasolie	378358	1382	0,4%	1520	0,4%
	Steenkool	166246	1459	0,9%	3166	1,9%
<b>5 MW, 6000 draaiuren</b>						
	<b>Brandstof</b>	<b>TJK stookin- stallatie</b>	<b>TJK EOP LK scenario</b>	<b>% kosten- stijging</b>	<b>TJK EOP HK scenario</b>	<b>% kosten- stijging</b>
droog- sorbent injectie	residuele	1098659	5599	0,5%	14544	1,3%
	gasolie	1659179	6909	0,4%	7652	0,5%
	Steenkool	598619	7294	1,2%	16315	2,7%
<b>20 MW, 6000 draaiuren</b>						
	<b>Brandstof</b>	<b>TJK stookin- stallatie</b>	<b>TJK EOP LK scenario</b>	<b>% kosten- stijging</b>	<b>TJK EOP HK scenario</b>	<b>% kosten- stijging</b>
droog- sorbent injectie	residuele	3685888	22398	0,6%	60212	1,6%
	gasolie	5927968	27635	0,5%	30810	0,5%
	Steenkool	1685728	29175	1,7%	67209	4,0%
halfnatte kalkwassing	residuele	3685888	30797	0,8%	264588	7,2%
	gasolie	5927968	37998	0,6%	264523	4,5%
	Steenkool	1685728	40116	2,4%	270036	16,0%
natte wasser	residuele	3685888	44796	1,2%	109939	3,0%
	gasolie	5927968	55270	0,9%	109923	1,9%
	Steenkool	1685728	58350	3,5%	111210	6,6%

50 MW, 6000 draaiuren						
	Brandstof	TJK stookinstallatie	TJK EOP LK scenario	% kostenstijging	TJK EOP HK scenario	% kostenstijging
droog-sorbent injectie	residuele	8734851	55995	0,6%	155614	1,8%
	gasolie	14340051	69088	0,5%	77531	0,5%
	Steenkool	3734451	72937	2,0%	172893	4,6%
halfnatte kalkwassing	residuele	8734851	76992	0,9%	656461	7,5%
	gasolie	14340051	94996	0,7%	656389	4,6%
	Steenkool	3734451	100289	2,7%	662515	17,7%
natte water	residuele	8734851	111989	1,3%	221055	2,5%
	gasolie	14340051	138176	1,0%	221017	1,5%
	Steenkool	3734451	145875	3,9%	224233	6,0%

Tabel 27: Overzicht van de berekende % kostenstijging voor stof

<b>0,3 MW, 6000 draaiuren</b>						
	<b>Brandstof</b>	<b>TJK stook- installatie</b>	<b>TJK EOP LK scenario</b>	<b>% kosten- stijging</b>	<b>TJK EOP HK scenario</b>	<b>% kosten- stijging</b>
Multicy- cloon	Residuele	104532	2538	2,4%	2538	2,4%
	Steenkool	74530	2551	3,4%	2551	3,4%
Stofwasser	Steenkool	74530	4277	5,7%	4277	5,7%
Doekenfilter	Residuele	104532	751	0,7%	1935	1,9%
	Steenkool	74530	978	1,3%	2521	3,4%
ESP droog	Residuele	104532	5679	5,4%	18944	18,1%
	Steenkool	74530	5815	7,8%	19080	25,6%
ESP nat	Residuele	104532	16135	15,4%	18944	18,1%
	Steenkool	74530	16272	21,8%	19080	25,6%
<b>1 MW, 6000 draaiuren</b>						
	<b>Brandstof</b>	<b>TJK stook- installatie</b>	<b>TJK EOP LK scenario</b>	<b>% kosten- stijging</b>	<b>TJK EOP HK scenario</b>	<b>% kosten- stijging</b>
Multicy- cloon	Residuele	266254	2637	1,0%	2637	1,0%
	Steenkool	166246	2679	1,6%	2679	1,6%
Stofwasser	Steenkool	166246	6466	3,9%	6466	3,9%
Doekenfilter	Residuele	266254	2504	0,9%	6450	2,4%
	Steenkool	166246	3261	2,0%	8402	5,1%
ESP droog	Residuele	266254	6729	2,5%	19994	7,5%
	Steenkool	166246	7183	4,3%	20448	12,3%
ESP nat	Residuele	266254	17186	6,5%	19994	7,5%
	Steenkool	166246	17640	10,6%	20448	12,3%
<b>5 MW, 6000 draaiuren</b>						
	<b>Brandstof</b>	<b>TJK stook- installatie</b>	<b>TJK EOP LK scenario</b>	<b>% kosten- stijging</b>	<b>TJK EOP HK scenario</b>	<b>% kosten- stijging</b>
Multicy- cloon	Residuele	1098659	3200	0,3%	3200	0,3%
	Steenkool	598619	3412	0,6%	3412	0,6%
Stofwasser	Steenkool	598619	21051	3,5%	21051	3,5%
Doekenfilter	Residuele	1098659	12518	1,1%	29168	2,7%
	Steenkool	598619	16306	2,7%	37993	6,3%
ESP droog	Residuele	1098659	32597	3,0%	52876	4,8%
	Steenkool	598619	34867	5,8%	55146	9,2%
ESP nat	Residuele	1098659	82787	7,5%	52876	4,8%
	Steenkool	598619	55146	9,2%	85057	14,2%

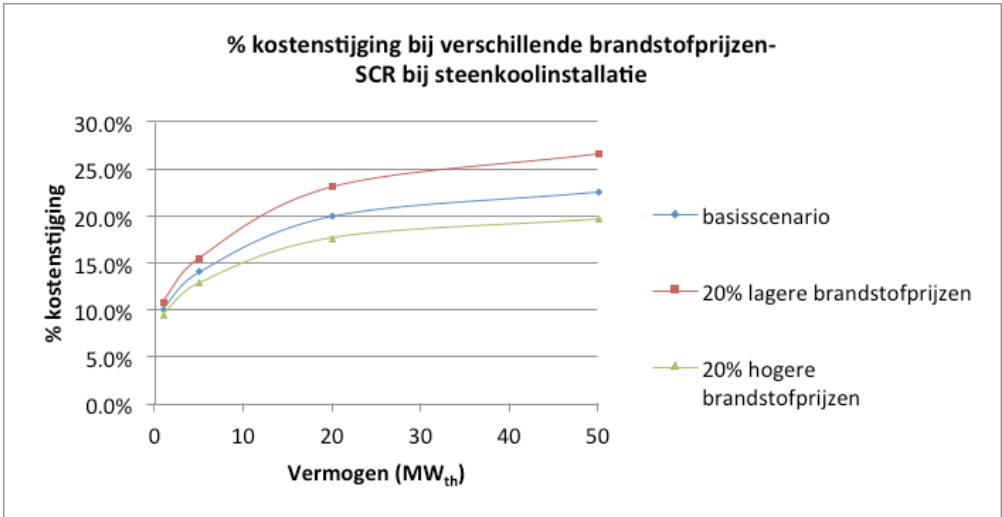
<b>20 MW, 6000 draaiuren</b>						
	<b>Brandstof</b>	<b>TJK stookinstallatie</b>	<b>TJK EOP LK scenario</b>	<b>% kostenstijging</b>	<b>TJK EOP HK scenario</b>	<b>% kostenstijging</b>
Multicycloon	Residuele	3685888	5310	0,1%	5310	0,1%
	Steenkool	1685728	6162	0,4%	6162	0,4%
Stofwasser	Steenkool	1685728	70761	4,2%	70761	4,2%
Doekenfilter	Residuele	3685888	50072	1,4%	67338	1,8%
	Steenkool	1685728	41125	2,4%	87713	5,2%
ESP droog	Residuele	3685888	99706	2,7%	126916	3,4%
	Steenkool	1685728	108786	6,5%	135996	8,1%
ESP nat	Residuele	3685888	99706	2,7%	320729	8,7%
	Steenkool	1685728	108786	6,5%	329809	19,6%
<b>50 MW, 6000 draaiuren</b>						
	<b>Brandstof</b>	<b>TJK stookinstallatie</b>	<b>TJK EOP LK scenario</b>	<b>% kostenstijging</b>	<b>TJK EOP HK scenario</b>	<b>% kostenstijging</b>
Multicycloon	Residuele	8734851	9532	0,1%	9532	0,1%
	Steenkool	3734451	11661	0,3%	11661	0,3%
Stofwasser	Steenkool	3734451	167176	4,5%	167176	4,5%
Doekenfilter	Residuele	8734851	125180	1,4%	100513	1,2%
	Steenkool	3734451	102813	2,8%	130927	3,5%
ESP droog	Residuele	8734851	161328	1,8%	308188	3,5%
	Steenkool	3734451	184029	4,9%	330889	8,9%
ESP nat	Residuele	8734851	161328	1,8%	774516	8,9%
	Steenkool	3734451	184029	4,9%	797217	21,3%

In bovenstaande tabellen werden de berekende procentuele kostentoeenames voor de kosteneffectieve technieken in een andere kleur gezet (maximum prijzen). De technieken welke kosteneffectief zijn (bij alle draaiuren) werden lichtblauw gemaakt, de technieken welke net niet (oranje zone) kosteneffectief zijn of welke enkel bij een bepaald aantal draaiuren kosteneffectief zijn werden paars gemaakt. Het zijn enkel deze kosteneffectieve technieken of eventueel die technieken die in de "oranje zone" van kosteneffectiviteit zitten die verder in aanmerking komen voor BBT (zie de tabellen op de EMIS website), afhankelijk van de procentuele kostenstijging en andere factoren, zoals technische haalbaarheid en het milieuvoordeel dat zij kunnen halen.

Energieprijzen hebben de eigenschap meermaals te schommelen gedurende langere periodes. Omdat de totale jaarlijkse kost (TJK) van een stookinstallatie deels bestaat uit brandstofkosten, hebben prijsenschommelingen ook een invloed op de berekeningen van de procentuele kostenstijging hierboven: een hogere brandstofprijs maakt de totale jaarlijkse kost van de installatie op zich duurder, waardoor de end-of-pipetechniek relatief goedkoper wordt. De procentuele kostenstijging zal minder groot zijn. Bij een lagere brandstofprijs geldt uiteraard het omgekeerde scenario.

In welke mate een schommeling in brandstofprijzen de procentuele kostenstijging beïnvloedt werd bekeken. Twee scenario's werden berekend, namelijk een stijging van de brandstofprijzen met 20% en een daling van de brandstofprijzen met 20%. Er werd hier ook van uitgegaan dat brandstofprijzen allemaal

zullen schommelen: wordt olie duurder, dan volgt bijvoorbeeld ook de aardgasprijs. Voor de tabellen met de resultaten van deze berekening verwijzen we graag naar bijlage 4.



Figuur 17: Gevoeligheidsanalyse: voorbeeld van de invloed van schommeling in brandstofprijzen op de procentuele kostenstijging

De invloed van de brandstofprijzen op de procentuele kostenstijging door het plaatsen van een end-of-pipetechniek is vooral bij grotere vermogens zichtbaar: dit is logisch aangezien de brandstofkost hier steeds belangrijker wordt. In bovenstaande figuur wordt voor een voorbeeld de procentuele kostenstijging getoond voor de vier vermogens en dat voor elk van de scenario's. Het is duidelijk dat het verschil groter is naarmate het vermogen van de installatie toeneemt. Het verschil blijft daar uiteindelijk nog beperkt tot ongeveer 4%.

Belangrijk is uiteraard ook om het belang van deze onzekerheid te plaatsen naast de onzekerheid op de prijsgegevens voor de end-of-pipetechnieken. Uit voorgaande berekeningen is al gebleken dat het verschil tussen de laagste en hoogste prijzen van de technieken soms erg groot kan zijn.

Voor de meeste van de kosteneffectieve technieken blijkt de procentuele stijging van de jaarlijkse kosten voor de exploitant lager dan 10% en zelfs 5%. SCR zorgt, zowel voor residuele brandstoffen als steenkool, voor een tamelijk grote kostenstijging, met 12,4% (steenkool, 1 MW) tot 24,3% (steenkool, 50 MW). Belangrijk om te onthouden is opnieuw de betrouwbaarheid van de kostprijsgegevens voor de end-of-pipetechnieken: doordat kostprijzen worden opgegeven per eenheid rookgasdebiet, zal de prijs waarmee gerekend wordt verhoudingsgewijs even duur zijn voor een kleine als een grote stookinstallatie. Dit lijkt intuïtief niet te kloppen. Zoals ook verschillende literatuurbronnen aangeven, is bijvoorbeeld de prijs van een SCR voor een kleine installatie relatief duurder dan een SCR voor een groter vermogen van installatie: de procentuele kostenstijging voor een SCR zal voor kleine vermogens dan ook gemiddeld hoger liggen dan wat in de tabel wordt weergegeven, voor grote vermogens zal de berekende kostenstijging naar alle waarschijnlijkheid lager zijn in werkelijkheid. De stijging met 12,4% voor een installatie op steenkool bij 1 MW zal dus eerder een onderschatting vormen, terwijl de stijging met 24,3% voor een installatie op steenkool bij 50 MW eerder een overschatting zal zijn.

Op basis van de procentuele kostenstijging kan men zich dus afvragen of SCR voor installaties op steenkool kostenhaalbaar is, omdat de kostenstijging vrij hoog is (in het hoge kostprijsscenario). Anderzijds is de

totale jaarlijkse kost voor een steenkoolinstallatie relatief laag waardoor de procentuele kostenstijging zo hoog is. De voornaamste reden voor de lage totale jaarlijkse kost van de stookinstallatie is de lage prijs voor steenkool. Indien strikt met de procentuele kostenstijging zou worden gewerkt in deze omstandigheden zou steenkool, ondanks zijn grotere milieu-impact ten opzichte van vloeibare en gasvormige fossiele brandstoffen, het meest ontzien worden door de BBT-analyse.

Omdat er geen sectorgemiddelde waarden zijn in deze studie (het is immers een horizontale, sectoroverschrijdende studie) om de haalbaarheid van de technieken aan te toetsen blijft deze afweging eerder indicatief. Het geeft wel aan dat deze techniek voor het ene bedrijf eenvoudiger haalbaar zal zijn dan voor een ander, afhankelijk van het aandeel van de stookkosten in het totale kostenplaatje. Op basis van de voorgaande berekeningen (kosteneffectiviteit en % kostenstijging) en de aard van de kostprijsgegevens, wordt de kostenstijging voor installaties met een vermogen groter dan 5 MW<sub>th</sub> toch als aanvaardbaar ingeschat in het hoge kostprijsscenario. Voor installaties op steenkool met een vermogen kleiner dan 5 MW<sub>th</sub> is geweten dat de stijging een onderschatting is en wordt de techniek niet kostenhaalbaar geacht in het hoge kostprijsscenario.

SNCR zal bij kleine installaties gestookt met steenkool en een beperkt aantal draaiuren toch verder in beschouwing genomen worden als kandidaat BBT: qua kosteneffectiviteit ligt de techniek voor installaties tot 1 MW buiten het kosteneffectieve gebied in het hoge kostprijsscenario, maar de % kostenstijging is hier erg beperkt. Daarenboven blijken in het buitenland (Nederland) zelfs verregaandere technieken, zoals SCR, toegepast in deze installaties als kosteneffectief beschouwd (achtergronddocument BEMS).

Ook bij residuele brandstoffen wordt SCR, bij grotere vermogens, toch verder in beschouwing genomen als kandidaat BBT, mede door de verschillende toepassingen gekend in het buitenland en de eerder beperkte kostenstijging.

Alle technieken m.b.t. reductie van SO<sub>2</sub>-emissies (Tabel 26) blijken een eerder beperkte procentuele kostenstijging te veroorzaken, met uitzondering van halfnatte kalkwassing bij steenkoolinstallaties vanaf 20 MW. Opnieuw dient hier de bedenking gemaakt te worden dat de kostprijzen van de end-of-pipetechnieken eerder een overschatting zullen vormen. Elk van kosteneffectieve technieken zal dan ook verder worden geëvalueerd, ondanks het hogere percentage kostenstijging bij enkele ervan.

Wat betreft stofreducerende maatregelen, zorgt enkel ESP bij steenkoolinstallaties voor een procentuele kostenstijging van meer dan 15%. Een doekenfilter blijkt een veel beperktere kostenstijging te veroorzaken. Daarnaast is duidelijk ook het onderscheid tussen natte en droge elektrofilter (ESP) belangrijk voor de kostprijs: hierover zijn echter enkel beperkte gegevens en literatuurinformatie terug te vinden. ESP wordt weerhouden voor verdere BBT evaluatie voor installaties met een vermogen > 5 MW<sub>th</sub>.

Belangrijk bij het evalueren van technieken op basis van deze procentuele kostenstijging is dat, indien meerdere technieken moeten worden geïmplementeerd bv. SCR voor NO<sub>x</sub>-reductie en een doekenfilter voor stofreductie, de procentuele kostenstijgingen moeten worden opgeteld. Dit kan zorgen dat twee technieken, ondanks het feit dat ze haalbaar lijken op basis van de individuele gegevens (en in aanmerking komen voor BBT), moeilijker haalbaar worden wanneer ze gecombineerd worden (en misschien geen BBT meer kunnen zijn).

Samengevat worden alle kosteneffectieve technieken alsook technieken in het grensgebied van kosteneffectiviteit, maar met een beperkte kostenstijging verder beschouwd in de BBT-evaluatie. Enkel SCR (NO<sub>x</sub>-reductie) voor stookinstallaties gestookt met steenkool en een vermogen kleiner dan 5 MW<sub>th</sub> worden als niet haalbaar beschouwd in het hoge kostprijsscenario. SNCR voor installaties ≤ 5 MW gestookt met steenkool is niet kosteneffectief in het hoge kostprijsscenario maar wordt, omwille van de erg beperkte kostenstijging, toch verder geëvalueerd.

### 5.3 Evaluatie van beschikbare milieuvriendelijke technieken

In Tabel 28 en Tabel 32 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.

Belangrijke opmerkingen bij het gebruik van Tabel 28 en Tabel 32:

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 b.v. 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/milieubeschermdende 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 stookinstallaties, stationaire motoren en gasturbines. 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.

De evaluatie gebeurt hier telkens op niveau van individuele technieken. Combinaties van technieken worden niet als dusdanig beschouwd.

Tabel 28: Evaluatie van beschikbare milieuvriendelijke technieken en selectie van BBT voor stookinstallaties op vaste fossiele brandstoffen

Referentie hoofdstuk 4	Techniek	Technische haalbaarheid				Milieuvoordeel								Kostenhaalbaarheid & -effectiviteit	BBT		
		Bezwen	Veiligheid	Kwaliteit	Globaal	Waterverbruik	Afvalwater	Lucht	Bodem	Afval	Energie	Chemicaliën	Globaal				
	<b>Stookinstallaties &lt; 1 MW<sub>th</sub> – vaste fossiele brandstof</b>																
	Goed ketelontwerp & dimensionering	+	0	+	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	+	0	Ja
	Kiezen voor een 'schonere' brandstof: vaste brandstoffen → vloeibaar/gas	+	0	0	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	+	-	Nee <sup>(1)</sup>
	Optimalisatie van de verbranding	+	0	+	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	+	0	Ja
	In situ ontzwalling in wervelbed	+	0	0	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	+	0	Vgtg <sup>(2)</sup>
	Rookgasrecirculatie	+	0	0	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	+	0	Ja
	Getrapte brandstofvoeder (reburning)	+	0	0	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	Nee <sup>(3)</sup>
	Getrapte verbrandingslucht (air staging)	+	0	0	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	Ja
	Multi-cycloon	+	0	0	+	0	0	+	0	0	-	-	-	0	+/-	-	Nee
	Doekenfilter	+	0	0	+	0	0	+	0	0	-	-	-	0	+/-	-	Nee
	Stofwasser	+	0	0	+	-	0	+	0	0	0	0	0	0	+/-	-	Nee
	Elektrofilter	+	0	0	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	+/-	-	Nee
	SNCR	+	0	0	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	+/-	-	Nee
	SCR	+	0	0	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	+/-	-/--	Vgtg <sup>(4)</sup>
	Droog-sorbent injectie	+	0	0	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	+/-	0/-	Ja



<b>Stookinstallaties 1 – &lt;5 MW<sub>th</sub> – vaste fossiele brandstof</b>														
Goed ketelontwerp & dimensionering	+	0	+	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0	Ja
Kiezen voor een 'schonere' brandstof: Vaste brandstoffen → vloeibaar/gas	+	0	0	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0	Nee <sup>(1)</sup>
Optimalisatie van de verbranding	+	0	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Ja
In situ ontzweveling in wervelbed	+	0	0	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0	Vgtg <sup>(2)</sup>
Rookgasrecirculatie	+	0	0	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0	Ja
Getrapte brandstofvoeder (reburning)	+	0	0	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0	Nee <sup>(3)</sup>
Getrapte verbrandingslucht (air staging)	+	0	0	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0	Ja
Multi-cycloon	+	0	0	+	+	0	0	0	0	-	0	+/-	-/--	Vgtg <sup>(5)</sup>
Stofwasser	+	0	0	+	+	0	-	0	0	0	0	+/-	--	Nee
Doekenfilter	+	0	0	+	+	0	0	0	0	-	0	+/-	--	Nee
Elektrofilter	+	0	0	+	+	0	0	0	0	-	0	+/-	--	Nee
SNCR	+	0	0	+	+	0	0	0	0	-	0	+/-	-	Vgtg <sup>(6)</sup>
SCR	+	0	0	+	+	0	0	0	0	-	0	+/-	-/--	Vgtg <sup>(7)</sup>
Droog-sorbent injectie	+	0	0	+	+	0	0	0	0	-	0	+/-	0/-	Ja

**Stookinstallaties 5 – <20 MW<sub>th</sub> – vaste fossiele brandstof**

Goed ketelontwerp & dimensionering	+	0	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Ja
Overschakelen naar 'schonere' brandstof	+	0	0	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0	Nee <sup>(1)</sup>
Vaste brandstoffen → vloeibaar/gas	+	0	0	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0	Ja
Optimalisatie van de verbranding	+	0	0	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0	Vgtg <sup>(2)</sup>
In-situ ontzweveling in wervelbed	+	0	0	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0	Ja
Rookgasrecirculatie	+	0	0	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0	Nee <sup>(3)</sup>
Getrapte brandstofvoeder (reburning)	+	0	0	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0/-	Nee <sup>(3)</sup>
Getrapte verbrandingslucht (air staging)	+	0	0	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0	Ja
Stof end-of-pipe techniek = BBT (1 van onderstaande technieken, onder bep. omstandigheden):														
Multi-cycloon	+	0	0	+	+	0	0	0	0	-	0	+/-	-	Vgtg <sup>(8)</sup>
Stofwasser	+	0	0	+	+	0	-	0	0	-	0	+/-	--	Vgtg <sup>(5)</sup>
Doekenfilter	+	0	0	+	+	0	0	0	0	-	0	+/-	-	Nee



<sup>(1)</sup> Levert wel milieuvoordeel op, maar prijsverschil brandstoffen is erg hoog (niet kosteneffectief).

<sup>(2)</sup> Enkel mogelijk indien gewerkt wordt met een wervelbed.

<sup>(3)</sup> Alternatieve techniek(en) is/zijn BBT.

<sup>(4)</sup> Bij meer dan 4000 draaiuren en indien lage prijzen voor SCR.

<sup>(5)</sup> Enkel bij meer dan 4000 draaiuren.

<sup>(6)</sup> BBT bij <4000 draaiuren en >4000 draaiuren ALS hoge prijzen voor SCR. Als lage prijzen voor SCR: SCR meer performant en dus BBT.

<sup>(7)</sup> BBT bij <4000 draaiuren en >4000 draaiuren ALS lage prijzen voor SCR.

<sup>(8)</sup> Bij minder dan 4000 draaiuren altijd BBT. Bij meer dan 4000 draaiuren zijn andere techniek(en) BBT.

<sup>(9)</sup> Wel kosteneffectief bij meer dan 4000 draaiuren, maar alternatieve techniek(en) is/zijn BBT.

Tabel 29: Evaluatie van beschikbare milieuvriendelijke technieken en selectie van BBT voor stookinstallaties op residuele brandstoffen (vb. zware stookolie)

Stookinstallaties < 1 MW <sub>th</sub> –vloeibare fossiele brandstof: Residuele brandstoffen														
Goed ketelontwerp & dimensionering	+	0	+	+	0	0	0	0	0	0	0	+	0	Ja
Fuel switch: residuele brandstoffen → gasolie verwarming	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	+	--	Nee
Fuel switch: Gasolie verwarming → gasolie verwarming extra	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	+	--	Nee
Optimalisatie van de verbranding	+	0	+	+	0	0	0	0	0	0	0	+	0	Ja
Water/stoominjectie	+	0	0	+	-	+	+	+	+	+	+	+/-		Nee <sup>(1)</sup>
Rookgasrecirculatie	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	+	0	Ja
Getrapte brandstofvoeder (reburning)	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	+	0/-	Nee <sup>(1)</sup>
Getrapte verbrandingslucht (air-staging)	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	+	0	Ja
Lage NO <sub>x</sub> -brander (met getrapte verbrandingslucht)	+	0	+	+	0	0	0	0	0	0	0	+	0	Ja
Multi-cycloon	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	+/-	-/--	Nee
Doekenfilter	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	+/-	-/--	Nee
Elektrofilter	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	+/-	--	Nee
SNCR	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	+/-	-/--	Nee
SCR	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	+/-	--	Vgtg <sup>(2)</sup>
Droog-sorbent injectie	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	+/-	-/--	Ja
Stookinstallaties 1 – <5 MW <sub>th</sub> –vloeibare fossiele brandstof: Residuele brandstoffen														
Goed ketelontwerp & dimensionering	+	0	+	+	0	0	0	0	0	0	0	+	0	Ja
Fuel switch: residuele brandstoffen → gasolie verwarming	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	+	--	Nee
Fuel switch: Gasolie verwarming → gasolie verwarming extra	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	+	--	Nee
Optimalisatie van de verbranding	+	0	+	+	0	0	0	0	0	0	0	+	0	Ja
Water/stoominjectie	+	0	0	+	-	+	+	+	+	+	+	+/-		Nee <sup>(1)</sup>
Rookgasrecirculatie	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	+	0	Ja
Getrapte brandstofvoeder (reburning)	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	+	0/-	Nee <sup>(1)</sup>



Stookinstallaties 20 – <50 MW <sub>th</sub> –vloeibare fossiele brandstof: Residuele brandstoffen														
Goed ketelontwerp & dimensionering	+	0	+	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0	Ja
Fuel switch: residuele brandstoffen → gasolie verwarming	+	0	0	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0	Nee
Fuel switch: Gasolie verwarming → gasolie verwarming extra	+	0	0	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0	Nee
Optimalisatie van de verbranding	+	0	+	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0	Ja
Water/stoominjectie	+	0	0	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0	Nee <sup>(1)</sup>
Rookgasrecirculatie	+	0	0	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0	Ja
Getrapte brandstofvoeder (reburning)	+	0	0	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0	Nee <sup>(1)</sup>
Getrapte verbrandingslucht (air staging)	+	0	0	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0	Ja
Lage NO <sub>x</sub> -brander (met getrapte verbrandingslucht)	+	0	+	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0	Ja
Multi-cycloon	+	0	0	+	+	0	0	0	0	-	0	+/-	-	Ja
Doekenfilter	+	0	0	+	+	0	0	0	0	-	0	+/-	-	Nee
Elektrofilter	+	0	0	+	+	0	0	0	0	-	0	+/-	--	Nee
SNCR	+	0	0	+	+	0	0	0	0	-	0	+/-	-	Vgtg <sup>(7)</sup>
SCR	+	0	0	+	+	0	0	0	0	-	0	+/-	-/--	Vgtg <sup>(8)</sup>
SO <sub>2</sub> end-of-pipetechniek = BBT (1 van onderstaande technieken):														
Natte wasser	+	0	0	+	+	-	-	0	0	0	0	+/-	-/--	Ja
Halfnatte wasser	+	0	0	+	+	-	-	0	0	0	0	+/-	-/--	Nee <sup>(1)</sup>
Droog-sorbent injectie	+	0	0	+	+	0	0	0	0	0	0	+/-	-/--	Nee <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Alternatieve techniek(en) is/zijn BBT.  
<sup>(2)</sup> SCR is BBT bij meer dan 4000 draaiuren en lage prijzen voor SCR.  
<sup>(3)</sup> SNCR is BBT bij meer dan 4000 draaiuren als hoge prijzen voor SCR.  
<sup>(4)</sup> SCR is BBT bij minder en meer dan 4000 draaiuren als lage prijzen voor SCR.  
<sup>(5)</sup> Enkel bij meer dan 4000 draaiuren.  
<sup>(6)</sup> SNCR is BBT bij minder en meer dan 4000 draaiuren als hoge prijzen voor SCR.  
<sup>(7)</sup> SNCR is BBT bij minder dan 4000 draaiuren, bij hoge prijzen voor SCR.  
<sup>(8)</sup> SCR is altijd BBT bij meer dan 4000 draaiuren; bij minder dan 4000 draaiuren enkel bij lage prijzen SCR.

Tabel 30: Evaluatie van beschikbare milieuvriendelijke technieken en selectie van BBT voor stookinstallaties op gasolie verwarming (i.e. lichte stookolie)

<b>Stookinstallaties &lt; 1 MW<sub>th</sub> –vloeibare fossiele brandstof: Gasolie verwarming</b>														
Goed ketelontwerp & dimensionering	+	0	+	+	0	0	0	0	0	0	0	+	0	
Fuel switch:	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	+	--	
Gasolie verwarming → gasolie verwarming extra	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	+	0	
Optimalisatie van de verbranding	+	0	+	+	0	0	0	0	0	0	+	+/–	Nee <sup>(1)</sup>	
Water/stoominjectie	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	+	0	Ja	
Rookgasrecirculatie	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	Nee <sup>(1)</sup>	
Getrapte brandstofvoevoer (reburning)	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0/-	Nee <sup>(1)</sup>	
Getrapte verbrandingslucht (air staging)	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	Ja	
Lage NO <sub>x</sub> -brander (met getrapte verbrandingslucht)	+	0	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0	Ja	
Multi-cycloon	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	+/–	Nee	
Doekenfilter	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	+/–	Nee	
Elektrofilter	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	+/–	Nee	
SNCR	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	+/–	Nee	
SCR	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	+/–	Nee	
Droog-sorbent injectie	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	+/–	Vgtg <sup>(2)</sup>	
<b>Stookinstallaties 1 – &lt;5 MW<sub>th</sub> –vloeibare fossiele brandstof: Gasolie verwarming</b>														
Goed ketelontwerp & dimensionering	+	0	+	+	0	0	0	0	0	0	0	+	0	Ja
Fuel switch:	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	+	--	Nee
Gasolie verwarming → gasolie verwarming extra	+	0	+	+	0	0	0	0	0	0	0	+	0	Ja
Optimalisatie van de verbranding	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	+/–	Nee <sup>(1)</sup>	Nee <sup>(1)</sup>
Water/stoominjectie	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Ja
Rookgasrecirculatie	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0/-	Nee <sup>(1)</sup>
Getrapte brandstofvoevoer (reburning)	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Ja
Getrapte verbrandingslucht (air staging)	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Ja
Lage NO <sub>x</sub> -brander (met getrapte verbrandingslucht)	+	0	+	+	0	0	0	0	0	0	0	+/–	--	Nee
Multi-cycloon	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	+/–	--	Nee
Doekenfilter	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	+/–	--	Nee







Tabel 31: Evaluatie van beschikbare milieuvriendelijke technieken en selectie van BBT voor stookinstallaties op aardgas

<b>Stookinstallaties ≤1 MW<sub>th</sub> – gasvormige fossiele brandstof</b>															
Goed ketelontwerp & dimensionering	+	0	+	+	0	0	0	+	0	0	0	0	+	0	Ja
Optimalisatie van de verbranding	+	0	+	+	0	0	0	+	0	0	0	0	+	0	Ja
Lage NO <sub>x</sub> -branders met getrapte verbrandingslucht	+	0	+	+	0	0	0	+	0	0	0	0	+	0	Ja
SNCR	+	0	0	+	0	0	0	+	0	-	0	0	+/-	--	Nee
SCR	+	0	0	+	0	0	0	+	0	-	0	0	+/-	--	Nee
<b>Stookinstallaties 1 – &lt;5 MW<sub>th</sub> – gasvormige fossiele brandstof</b>															
Goed ketelontwerp & dimensionering	+	0	+	+	0	0	0	+	0	0	0	0	+	0	Ja
Optimalisatie van de verbranding	+	0	+	+	0	0	0	+	0	0	0	0	+	0	Ja
Lage NO <sub>x</sub> -branders met getrapte verbrandingslucht	+	0	+	+	0	0	0	+	0	0	0	0	+	0	Ja
SNCR	+	0	0	+	0	0	0	+	0	-	0	0	+/-	--	Nee
SCR	+	0	0	+	0	0	0	+	0	-	0	0	+/-	--	Nee
<b>Stookinstallaties 5 – &lt;20 MW<sub>th</sub> – gasvormige fossiele brandstof</b>															
Goed ketelontwerp & dimensionering	+	0	+	+	0	0	0	+	0	0	0	0	+	0	Ja
Optimalisatie van de verbranding	+	0	+	+	0	0	0	+	0	0	0	0	+	0	Ja
Lage NO <sub>x</sub> -branders met getrapte verbrandingslucht	+	0	+	+	0	0	0	+	0	0	0	0	+	0	Ja
SNCR	+	0	0	+	0	0	0	+	0	-	0	0	+/-	--	Nee
SCR	+	0	0	+	0	0	0	+	0	-	0	0	+/-	--	Vgtg <sup>(1)</sup>
<b>Stookinstallaties 20 – &lt;50 MW<sub>th</sub> – gasvormige fossiele brandstof</b>															
Goed ketelontwerp & dimensionering	+	0	+	+	0	0	0	+	0	0	0	0	+	0	Ja
Optimalisatie van de verbranding	+	0	+	+	0	0	0	+	0	0	0	0	+	0	Ja
Lage NO <sub>x</sub> -branders met getrapte verbrandingslucht	+	0	+	+	0	0	0	+	0	0	0	0	+	0	Ja
SNCR	+	0	0	+	0	0	0	+	0	-	0	0	+/-	--	Vgtg <sup>(2)</sup>
SCR	+	0	0	+	0	0	0	+	0	-	0	0	+/-	--	Vgtg <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Enkel bij > 4000 draaiuren en bij lage prijzen voor SCR. Bij hoge prijzenscenario is geen enkele techniek BBT.

<sup>(2)</sup> Bij < 4000 draaiuren enkel bij lage prijzen voor SNCR. Bij > 4000 draaiuren enkel wanneer prijzen voor SCR hoog zijn. Bij lage prijzen voor SCR is SCR de meer performante techniek en dus BBT.

!!! Belangrijk om op te merken is dat, hoewel verschillende technieken BBT kunnen zijn wanneer zij individueel worden beoordeeld, de combinatie van verschillende BBT net niet meer BBT zou zijn: de kostenhaalbaarheid wordt hier nadelig beïnvloed door de combinatie van technieken.

!!! Indien voor de reductie van een bepaalde pollutent meerdere end-of-pipetechnieken BBT zijn, moeten deze als alternatief gezien worden (tenzij anders vermeld): in dit geval bestaat de keuze tussen de verschillende alternatieven met een gelijkaardige performantie (reductie).

<sup>(1)</sup> Enkel bij > 4000 draaiuren en bij lage prijzen voor SCR. Bij hoge prijzenscenario is geen enkele techniek BBT.

<sup>(2)</sup> Bij < 4000 draaiuren enkel bij lage prijzen voor SNCR. Bij > 4000 draaiuren enkel wanneer prijzen voor SCR hoog zijn. Bij lage prijzen voor SCR is SCR de meer performante techniek en dus BBT.

Voor stationaire motoren werd geen berekening uitgevoerd van de procentuele kostenstijging. De beoordeling van de kosten steunt hier dus enkel op het feit of de techniek kosteneffectief is of niet en ervaringen in binnen- en buitenland.

Tabel 32: Evaluatie van beschikbare milieuvriendelijke technieken en selectie van BBT voor stationaire gasmotoren

Referentie hoofdstuk 4	Techniek	Technische haalbaarheid					Milieuvoordeel							Kostenef- fectiviteit	BBT		
		Bevzen	Veiligheid	Kwaliteit	Global	Waterverbruik	Afvalwater	Lucht	Bodem	Afval	Energie	Chemicaliën	Global				
<b>Stationaire gasmotoren &lt; 1 MW<sub>th</sub> en 1 – &lt;5 MW<sub>th</sub></b>																	
	Kiezen voor een schonere brandstof	+	0	0	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	+	--	Nee
	Water-/stoominjectie	+/-	0	+	+/-	0/-	0	+	0	0	0	0	0	0	+/-	0	Nee
	Injectie water/brandstofemulsie	+/-	0	0	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	+	0	Nee
	Lean burn (met oxidatiekatalysator)	+	0	0	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	+	0	Ja
	Advanced lean burn	+	0	0	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	+	-	Vgtg <sup>(1)</sup>
	SCR	+	0	0	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	+	-/--	Vgtg <sup>(2)</sup>
	Driewegkatalysator	+	0	0	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	+/-	-	Nee
<b>Stationaire gasmotoren 5 – &lt;20 MW<sub>th</sub> en 20 – &lt;50 MW<sub>th</sub></b>																	
	Kiezen voor een schonere brandstof	+	0	0	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	+	--	Nee
	Water-/stoominjectie	+/-	0	+	+/-	0/-	0	+	0	0	0	0	0	0	+/-	0	Nee
	Injectie water/brandstofemulsie	+/-	0	0	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	+	0	Nee
	Lean burn (met oxidatiekatalysator)	+	0	0	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	+	0	Ja
	Advanced lean burn	+	0	0	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	+	-	Nee
	SCR	+	0	0	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	+	-/--	Ja
	Driewegkatalysator	+	0	0	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	+/-	-	Nee

<sup>(1)</sup> Enkel BBT bij minder dan 2000 draaiuren.<sup>(2)</sup> Enkel BBT bij meer dan 2000 draaiuren.

Tabel 33: Evaluatie van beschikbare milieuvriendelijke technieken en selectie van BBT voor stationaire dieselmotoren

Referentie hoofdstuk 4	Techniek	Technische haalbaarheid				Milieuvoordeel							Kosteneffectiviteit	BBT		
		Bevzen	Veiligheid	Kwaliteit	Global	Waterverbruik	Afvalwater	Lucht	Bodem	Afval	Energie	Chemicaliën			Global	
<b>Stationaire dieselmotoren – residuele brandstoffen &lt;1 MW<sub>th</sub> 1-&lt;5 MW<sub>th</sub> en 5-&lt;20 MW<sub>th</sub></b>																
	Kiezen voor een schonere brandstof	+	0	0	+	0	0	+	0	0	0	0	0	+	--	Nee
	Water-/stoominjectie	+/-	0	+	+	0	0	+	0	0	0	-	0	+	0	Nee
	Injectie water/brandstofemulsie	+/-	0	0	+	0	0	+	0	0	0	0	0	+	0	Nee
	Miller concept	+	0	0	+	0	0	+	0	0	0	0	0	+	0	Ja
	Optimalisatie NO <sub>x</sub> -beperking d.m.v. vertraagde brandstofinjectie	+	0	0	+	0	0	+	0	0	0	0	0	+	0	Ja
	Roefilter	+	0	0	+	0	0	+	0	0	0	0	0	+	-/--	Ja
	Doekenfilter/ESP	+	0	0	+	0	0	+	0	0	-	-	0	+/-	--	Nee
	SCR	+	0	0	+	0	0	+	0	0	0	0	0	+	-	Ja
	Natte water	+	0	0	+	-	-	+	0	-	0	0	0	+/-	-/--	Nee
	Halfnatte water	+	0	0	+	-	-	+	0	-	0	0	0	+/-	-/--	Nee
	Droog-sorbent injectie	+	0	0	+	0	0	+	0	-	0	0	0	+/-	-	Ja
<b>Stationaire dieselmotoren – residuele brandstoffen 20-&lt;50 MW<sub>th</sub></b>																
	Kiezen voor een schonere brandstof	+	0	0	+	0	0	+	0	0	0	0	0	+	--	Nee
	Water-/stoominjectie	+/-	0	+	+	0	0	+	0	0	-	0	0	+	0	Nee
	Injectie water/brandstofemulsie	+/-	0	0	+	0	0	+	0	0	0	0	0	+	0	Nee
	Miller concept	+	0	0	+	0	0	+	0	0	0	0	0	+	0	Ja



Doekenfilter/ESP	+	0	0	+	0	0	0	+	0	0	-	0	+/-	--	Nee	
SCR	+	0	0	+	0	0	0	+	0	0	0	0	+	-	Ja	
Natte wasser	+	0	0	+	-	-	+	+	0	0	-	0	+/-	--	Vgtg <sup>(2)</sup>	
Halfatte wasser	+	0	0	+	-	-	+	+	0	0	-	0	+/-	--	Nee	
Droog-sorbent injectie	+	0	0	+	0	0	0	+	0	0	-	0	+/-	-	Nee <sup>(3)</sup>	
<b>Stationaire dieselmotoren – gasolie verwarming extra (alle vermogens)</b>																
Kiezen voor een schonere brandstof	+	0	0	+	0	0	0	+	0	0	0	0	+	--	Nee	
Water-/stoominjectie	+/-	0	+	+	0	0	0	+	0	0	0	-	0	0	Nee	
Injectie water/brandstofemulsie	+/-	0	0	+	0	0	0	+	0	0	0	0	+	0	Nee	
Miller concept	+	0	0	+	0	0	0	+	0	0	0	0	+	0	Ja	
Optimalisatie NO <sub>x</sub> -beperking d.m.v. vertraagde brandstofinjectie	+	0	0	+	0	0	0	+	0	0	0	0	+	0	Ja	
Roetfilter	+	0	0	+	0	0	0	+	0	0	0	0	+	--	Nee	
Doekenfilter/ESP	+	0	0	+	0	0	0	+	0	0	-	0	+/-	--	Nee	
SCR	+	0	0	+	0	0	0	+	0	0	0	0	+	-	Ja	
Droog-sorbent injectie	+	0	0	+	0	0	0	+	0	0	-	0	+/-	--	Nee	
Natte wasser	+	0	0	+	-	-	+	+	0	0	-	0	+/-	--	Nee	
Gasturbines (alle vermogens)																
Dry Low NO <sub>x</sub>	+	0	0	+	0	0	0	+	0	0	0	0	+	0	Ja	
SCR	+/-	0	0	+/-	0	0	0	+	0	0	-	0	+/-	-/--	Nee	

<sup>(1)</sup> Geen BBT omdat alternatieve techniek(en) BBT zijn (meer performant).

<sup>(2)</sup> Enkel BBT bij meer dan 2000 draaiuren.

<sup>(3)</sup> Bij 2000 draaiuren: geen BBT omdat alternatieve techniek(en) BBT zijn (meer performant).

!!! Belangrijk om op te merken is dat, hoewel verschillende technieken BBT kunnen zijn wanneer zij individueel worden beoordeeld, de combinatie van verschillende BBT net niet meer BBT zou zijn: de kostenhaalbaarheid wordt hier nadelig beïnvloed door de combinatie van technieken.

!!! Indien voor de reductie van een bepaalde pollutant meerdere end-of-pipetechnieken BBT zijn, moeten deze als alternatief gezien worden (tenzij anders vermeld): in dit geval bestaat de keuze tussen de verschillende alternatieven met een gelijkwaardige performantie (reductie).

## 5.4 BBT-conclusies

Op basis van Tabel 28 tot en met Tabel 33 kunnen conclusies geformuleerd worden voor nieuwe, kleine en middelgrote stookinstallaties, stationaire motoren en gasturbines gestookt met vaste, gasvormige of vloeibare fossiele brandstoffen. In de tabel worden alle BBT-technieken vermeld: dit sluit uiteraard de primaire maatregelen en 'good practice' maatregelen, zoals optimalisatie van de verbranding en goed ontwerp & dimensionering, niet uit. End-of-pipetechnieken zijn enkel BBT in combinatie met de nodige primaire maatregelen.

Fuel switch, van residuele brandstoffen naar gasolie verwarming (extra), is in geen enkel geval BBT. Deze optie voor emissiereductie is nooit kosteneffectief. Fuel switch, van gasolie verwarming naar gasolie verwarming extra (van 0,1% S naar 0,005% S) is ook niet kosteneffectief volgens de berekeningen. De procentuele kostenstijging is echter beperkt (ongeveer 5%). De keuze voor een schonere brandstof zou dan ook in aanmerking kunnen komen voor BBT door bijvoorbeeld een aangepast subsidiebeleid: de maatregel zou hierdoor wel kosteneffectief kunnen worden.



Tabel 34: Overzicht van de als BBT beschouwde technieken

<b>Stookinstallaties</b>		<b>NO<sub>x</sub></b>		<b>SO<sub>2</sub></b>		<b>Stof</b>	
<b>Vaste brandstof</b>		<b>NO<sub>x</sub></b>		<b>SO<sub>2</sub></b>		<b>Stof</b>	
< 1MW <sub>th</sub>	<4000 u	OFA en optimalisatie verbranding		Droog sorbent injectie		Optimale verbranding	
	>4000 u	SCR (afhankelijk van prijzen SCR)					
1 – <5 MW <sub>th</sub>	<4000 u	SNCR/SCR (afhankelijk van prijzen SCR)		Droog sorbent injectie		Optimale verbranding	
	>4000 u					Multicycloon	
5 – <20 MW <sub>th</sub>	<4000 u	SNCR/SCR (afhankelijk van prijzen SCR)		Droog sorbent injectie		Multicycloon	
	>4000 u					Stofwasser	
20 – <50 MW <sub>th</sub>	<4000 u	SNCR/SCR (afhankelijk van prijzen SCR)		Natte wasser		Stofwasser	
	>4000 u	SCR				Doekenfilter/ESP	
<b>Residuele brandstoffen</b>		<b>NO<sub>x</sub></b>		<b>SO<sub>2</sub></b>		<b>Stof</b>	
< 1MW <sub>th</sub>	<4000 u	Lage NO <sub>x</sub> -brander met aangepast ketelontwerp		Droog sorbent injectie		Optimale verbranding	
	>4000 u	SCR (afhankelijk van prijzen SCR)					
1 – <5 MW <sub>th</sub>	<4000 u	SCR (afhankelijk van prijzen SCR)		Droog sorbent injectie		Optimale verbranding	
	>4000 u	SNCR/SCR (afhankelijk van prijzen SCR)					
5 – <20 MW <sub>th</sub>	<4000 u	SNCR/SCR (afhankelijk van prijzen SCR)		Droog sorbent injectie		Optimale verbranding	
	>4000 u	SNCR/SCR (afhankelijk van prijzen SCR)				Multicycloon	
20 – <50 MW <sub>th</sub>	<4000 u	SNCR/SCR (afhankelijk van prijzen SCR)		Natte wasser		Multicycloon	
	>4000 u	SCR					
<b>Gasolie verwarming</b>		<b>NO<sub>x</sub></b>		<b>SO<sub>2</sub></b>		<b>Stof</b>	
< 1MW <sub>th</sub>	<4000 u	Lage NO <sub>x</sub> -brander en optimaal ontwerp		optimale verbranding en max. zwavelgehalte van 0,1% S		Optimale verbranding	
	>4000 u						
1 – <5 MW <sub>th</sub>	<4000 u	Lage NO <sub>x</sub> -brander en optimaal ontwerp		Optimale verbranding en max. zwavelgehalte van 0,1% S		Optimale verbranding	
	>4000 u	Lage NO <sub>x</sub> -brander en optimaal ontwerp/SCR (afhankelijk van prijzen SCR)		Droog sorbent injectie			

5 – <20 MW <sub>th</sub>	<4000 u	Lage NO <sub>x</sub> -brander en optimaal ontwerp/ SCR (afhankelijk van prijzen SCR)	Brandstof met max. 0, 1% S	Optimale verbranding
	>4000 u	SNCR/SCR (afhankelijk van prijzen SCR)		
20 – <50 MW <sub>th</sub>	<4000 u	SNCR/SCR (afhankelijk van prijzen SCR)	Brandstof met max. 0, 1% S	Optimale verbranding
	>4000 u	SNCR/SCR (afhankelijk van prijzen SCR)		
<b>Gasvormige brandstof</b>				
< 1MW <sub>th</sub>	<4000 u	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>SO<sub>2</sub></b>	<b>Stof</b>
	>4000 u	Lage NO <sub>x</sub> -brander en optimaal ontwerp	/	/
1 – <5 MW <sub>th</sub>	<4000 u	Lage NO <sub>x</sub> -brander en optimaal ontwerp	/	/
	>4000 u	Lage NO <sub>x</sub> -brander en optimaal ontwerp	/	/
5 – <20 MW <sub>th</sub>	<4000 u	Lage NO <sub>x</sub> -brander en optimaal ontwerp	/	/
	>4000 u	Lage NO <sub>x</sub> -brander en optimaal ontwerp/ SCR (afhankelijk van prijzen SCR)	/	/
20 – <50 MW <sub>th</sub>	<4000 u	Lage NO <sub>x</sub> -brander en optimaal ontwerp/ SNCR (afhankelijk van prijzen SNCR)	/	/
	>4000 u	SNCR/SCR (afhankelijk van prijzen SCR)	/	/
<b>Stationaire gasmotoren</b>				
<b>Gasmotoren</b>				
< 1MW <sub>th</sub>	<2000 u	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>SO<sub>2</sub></b>	<b>Stof</b>
	>2000 u	Advanced lean burn	/	/
1 – <5 MW <sub>th</sub>	<2000 u	SCR	/	/
	>2000 u	Advanced lean burn	/	/
5 – <20 MW <sub>th</sub>	<2000 u	SCR	/	/
	>2000 u	SCR	/	/
20 – <50 MW <sub>th</sub>	<2000 u	SCR	/	/
	>2000 u	SCR	/	/

<i>Dieselmotor residuele brandstoffen (1%S)</i>	<i>NO<sub>x</sub></i>	<i>SO<sub>x</sub></i>	<i>Stof</i>
< 1MW <sub>th</sub>	SCR	Droog sorbent injectie	Roefilter
	<2000 u >2000 u		
1 – <5 MW <sub>th</sub>	SCR	Droog sorbent injectie	Roefilter
	<2000 u >2000 u		
5 – <20 MW <sub>th</sub>	SCR	Droog sorbent injectie	Roefilter
	<2000 u >2000 u		
20 – <50 MW <sub>th</sub>	SCR	Natte water	Roefilter
	<2000 u >2000 u		
<i>Dieselmotor gasolie verwarming (0,1%S)</i>	<i>NO<sub>x</sub></i>		<i>Stof</i>
< 1MW <sub>th</sub>	SCR	Max 0,1%S	/
	<2000 u >2000 u	Droog sorbent injectie	
1 – <5 MW <sub>th</sub>	SCR	Max 0,1%S	/
	<2000 u >2000 u	Droog sorbent injectie	
5 – <20 MW <sub>th</sub>	SCR	Max 0,1%S	/
	<2000 u >2000 u	Droog sorbent injectie	
20 – <50 MW <sub>th</sub>	SCR	Max 0,1%S	/
	<2000 u >2000 u	Droog sorbent injectie	
Dieselmotor gasolie verwarming extra (0,005%S) (~diesel)	NO <sub>x</sub>	Natte water	Stof

< 1 MW <sub>th</sub>	<2000 u	/	/	/
	>2000 u			
1 – <5 MW <sub>th</sub>	<2000 u	/	/	/
	>2000 u			
5 – <20 MW <sub>th</sub>	<2000 u	/	/	/
	>2000 u			
20 – <50 MW <sub>th</sub>	<2000 u	/	/	/
	>2000 u			
<b>Gasturbines</b>				
		<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>SO<sub>2</sub></b>	<b>Stof</b>
		Dry Low NO <sub>x</sub>	Brandstofkeuze (max 0,1% S)	Brandstof met laag asgehalte en optimale verbranding

**Opmerking:**

Voor SCR is de spreiding op de kostprijzen in het laagste en het hoogste scenario aanzienlijk. Afhankelijk van het scenario zullen de conclusies ook verschillen: in het scenario met de laagste prijzen zal SCR veel sneller kosteneffectief zijn dan in het scenario met de hoogste prijzen, zowel bij vaste als vloeibare brandstoffen. Voor andere technieken (stofmaatregelen, SO<sub>2</sub>-maatregelen) is het effect van deze scenario's meestal niet zo drastisch verschillend.

Voor SCR is het dus zeer afhankelijk van de kostprijzen waar mee gerekend wordt of de techniek al dan niet kosteneffectief is.

Een belangrijk aspect dat steeds wordt gehanteerd bij BBT is dat er altijd voorkeur wordt gegeven aan primaire maatregelen, indien deze even performant zijn als bijvoorbeeld een minder performant systeem in combinatie met een nageschakelde techniek. Zo werd bijvoorbeeld ook gekeken naar het scenario waarin rich burn gasmotoren met een nageschakelde driewegkatalysator worden uitgevoerd. Deze combinatie haalt, net als een lean burn gasmotor, 500 mg NO<sub>x</sub>/Nm<sup>3</sup>. Lean burn gasmotoren worden vandaag de dag frequent verkocht en werden daarom als referentie gebruikt. Indien rich burn als referentie wordt gebruikt, is de nageschakelde katalysator kosteneffectief. Toch zou deze niet onmiddellijk als BBT beschouwd worden: end-of-pipe technieken hebben sowieso meer cross media effecten dan primaire maatregelen en zullen dus op milieugebied minder goed scoren. Daarnaast blijkt de kostentoeename bij keuze voor een rich burn met katalysator significant, wat niet het geval is bij een lean burn motor. In dit geval wordt dus de primaire maatregel, namelijk een lean burn gasmotor, als BBT beschouwd en niet de combinatie van een rich burn motor met nageschakelde katalysator.



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 de nieuwe, kleine en middelgrote stookinstallaties, stationaire motoren en gasturbines op fossiele brandstoffen te concretiseren en/of aan te vullen;
- aanbevelingen voor de milieusubsidie-regelgeving: we gaan na welke milieuvriendelijke technieken voor de nieuwe, kleine en middelgrote stookinstallaties, stationaire motoren en gasturbines op fossiele brandstoffen in aanmerking kunnen genomen worden voor Ecologiepremie;
- aanbevelingen voor verder onderzoek en technologische ontwikkeling: we identificeren een aantal voor de nieuwe, kleine en middelgrote stookinstallaties, stationaire motoren en gasturbines op fossiele brandstoffen relevante thema's waarrond verder onderzoek en technologische ontwikkeling wenselijk is, en we beschrijven een aantal innovatieve technologieën die in de toekomst mogelijk tot BBT kunnen evolueren.

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 om de impact op het milieu in zijn geheel te

beperken, worden de emissies 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 en overleg met het begeleidingscomité.



## 6.1 Aanbevelingen voor milieuregelgeving

### 6.1.1 Inleiding

De beste beschikbare technieken vormen een belangrijke basis voor het opstellen en concretiseren van de milieuregelgeving.

In deze paragraaf worden de in hoofdstuk 5 geselecteerde BBT vertaald naar regelgeving, volgens twee sporen. Vooreerst worden, met de geselecteerde BBT als uitgangspunt, een aantal aandachtspunten geformuleerd naar de verschillende milieucompartimenten toe. Deze kunnen onder meer door vergunningverleners als basis gebruikt worden, bijvoorbeeld bij het vastleggen van bijzondere vergunningsvoorwaarden.

Daarna worden de bestaande sectorale vergunningsvoorwaarden (cf. VLAREM II) getoetst aan de BBT. Deze evaluatie kan, indien dit nuttig/nodig mocht blijken, door de wetgever als basis worden gebruikt om aanpassingen aan de regelgeving te formuleren.

Bij het opstellen van emissiegrenswaarden spelen ook andere beleidsaspecten mee, zoals lange termijn doelstellingen die vanuit Europa worden voorgesteld of opgelegd.

Het is dan ook van belang om ook hiermee rekening te houden bij het vastleggen van nieuwe emissiegrenswaarden voor nieuwe, kleine en middelgrote stookinstallaties, stationaire motoren en gasturbines op fossiele brandstoffen.

De BBT-conclusies zijn telkens geformuleerd op niveau van individuele technieken. Combinaties van technieken worden niet als dusdanig besproken.

### 6.1.2 Stookinstallaties

Voor stookinstallaties werden zowel vaste, vloeibare als gasvormige brandstoffen bekeken. De meeste leveranciers vermelden voornamelijk installaties op gas of olie, terwijl steenkool slechts door 1 gecontacteerde leverancier nog werd vermeld in het kader van nieuwe installaties. De beschikbare informatie over steenkoolgebruik in stookinstallaties was dan ook erg beperkt, waardoor er hier meer beroep gedaan werd op buitenlandse informatie of literatuurgegevens (bv. voorgaande BBT-studies).

Voor andere gassen dan aardgas, bijvoorbeeld cokesovengas of industriegas, werden geen specifieke emissiegegevens gemeld door leveranciers. Verdere details werden voor dergelijke gassen dus niet berekend. Wel werd hiervoor gekeken naar de huidige wetgeving in het buitenland, bijvoorbeeld Nederland en Duitsland. Voor deze brandstoffen formuleren we geen aanbevelingen.

Een belangrijke opmerking bij onderstaande tabellen is dat hier opnieuw onderscheid gemaakt wordt naar draaiuren van installaties. Dit is iets wat momenteel in VLAREM II niet gebeurt voor stookinstallaties, maar wel gehanteerd werd in de berekeningen in voorgaande hoofdstukken. Vaak is het aantal draaiuren immers van belang voor het al dan niet BBT zijn van een bepaalde techniek. In de berekeningen werd gewerkt met 2000 draaiuren en 6000 draaiuren. Een grenswaarde van 4000 draaiuren, tussen de twee in, wordt in de tabel gebruikt om onderscheid naar draaiuren te kunnen maken. Voor motoren bevindt de drempelwaarde zich op 2000 draaiuren.

Nageschakelde emissiereducerende technieken, vermeld in de tabellen hieronder als de BBT, zijn enkel BBT in combinatie met de nodige primaire basismaatregelen (vb. optimale procesvoering, goed ontwerp en dimensionering, ...).

**Vaste fossiele brandstoffen**

Tabel 35: BBT en geassocieerde emissieniveaus voor nieuwe stookinstallaties op vaste fossiele brandstoffen

	<b>Draaiuren</b>	<b>Vermogen</b>	<b>BBT</b>	<b>Geassocieerd emissieniveau (6% O<sub>2</sub>)</b>	<b>Huidige norm VLAREM II</b>	
NO <sub>x</sub>	< 1MW <sub>th</sub>	< 4000 u	Overfire air	450 mg/Nm <sup>3</sup> OPM1	300 mg/Nm <sup>3</sup>	
		> 4000 u	SCR*	90 mg/Nm <sup>3</sup>		
	1 – <5 MW <sub>th</sub>	< 4000 u	SNCR/SCR*		295/90 mg/Nm <sup>3</sup>	300 mg/Nm <sup>3</sup>
		> 4000 u				
	5 – <20 MW <sub>th</sub>	< 4000 u	SNCR/SCR*		270/70 mg/Nm <sup>3</sup>	300 mg/Nm <sup>3</sup>
		> 4000 u				
	20 – <50MW <sub>th</sub>	< 4000 u	SNCR/SCR*		250/45 mg/Nm <sup>3</sup>	300 mg/Nm <sup>3</sup>
		> 4000 u				
SO <sub>2</sub>	< 1MW <sub>th</sub>	< 4000 u	Droog sorbent injectie	375 mg/Nm <sup>3</sup>	1250 mg/Nm <sup>3</sup>	
		> 4000 u				
	1 – <5 MW <sub>th</sub>	< 4000 u	Droog sorbent injectie		375 mg/Nm <sup>3</sup>	1250 mg/Nm <sup>3</sup>
		> 4000 u				
	5 – <20 MW <sub>th</sub>	< 4000 u	Droog sorbent injectie		315 mg/Nm <sup>3</sup>	1250 mg/Nm <sup>3</sup>
		> 4000 u				
	20 – <50MW <sub>th</sub>	< 4000 u	Droog sorbent injectie		250 mg/Nm <sup>3</sup>	1250 mg/Nm <sup>3</sup>
		> 4000 u				
Stof	< 1MW <sub>th</sub>	< 4000 u	Optimale verbranding	300 mg/Nm <sup>3</sup> OPM1	100 mg/Nm <sup>3</sup>	
		> 4000 u				
	1 – <5 MW <sub>th</sub>	< 4000 u	Optimale verbranding		300 mg/Nm <sup>3</sup> OPM1	100 mg/Nm <sup>3</sup>
		> 4000 u				
	5 – <20 MW <sub>th</sub>	< 4000 u	Multicycloon		100 mg/Nm <sup>3</sup> OPM1	50 mg/Nm <sup>3</sup>
		> 4000 u				
	20 – <50MW <sub>th</sub>	< 4000 u	Stofwasser		45 mg/Nm <sup>3</sup>	50 mg/Nm <sup>3</sup>
		> 4000 u				

OPM 1: Deze waarde is de BBT gerelateerde emissiewaarde en houdt een versoepeling van de VLAREM II wetgeving in. Deze waarde is echter zodanig hoog dat een aanbeveling tot versoepeling van VLAREM II hier niet gepast is: dergelijke emissies zouden in de praktijk tot een hoge milieu- en/of gezondheidsimpact leiden. Vanuit de algemene betrachting van BBT om de impact op het milieu in zijn geheel maximaal te beperken, stellen we hier voor geen aanpassing aan de VLAREM wetgeving door te voeren en de huidige emissiegrenswaarde te behouden.

OPM 2: Range wordt gehanteerd omwille van mogelijke verschillen in rendement van de reductie-maatregel. Doorgaans is 5 mg/Nm<sup>3</sup> haalbaar (ook gehanteerd in berekeningen). Range is ook conform voorgaande BBT-studies.

### Vloeibare fossiele brandstoffen

Voor vloeibare brandstoffen werd bij de berekeningen telkens onderscheid gemaakt tussen residuël brandstoffen en gasolie verwarming (respectievelijk 1% S en 0,1% S). Tabel 36 en Tabel 37 tonen voor beide types stookolie de BBT en de daarmee geassocieerde emissieniveaus in vergelijking met de huidige VLAREM II normen. Een een-op-een vergelijking van de voorgestelde emissieniveaus en de huidige normen is hier niet zo eenvoudig: de BBT-analyse is namelijk gebeurd volgens brandstoftype (gasolie verwarming en residuele brandstoffen), iets wat niet in de huidige VLAREM II staat.

Tabel 36: BBT en geassocieerde emissieniveaus voor nieuwe stookinstallaties op residuele brandstoffen (e.g. zware stookolie 1% S)

	<i>Draaiuren</i>	<i>Vermogen</i>	<i>BBT</i>	<i>Geassocieerd emissieniveau (3% O<sub>2</sub>)</i>	<i>Huidige norm VLAREM II</i>
NO <sub>x</sub> <sup>OPM</sup>	< 1MW <sub>th</sub>	< 4000 u	Low NO <sub>x</sub> -brander	525 mg/Nm <sup>3</sup> OPM1	185 mg/Nm <sup>3</sup>
		> 4000 u	Low NO <sub>x</sub> -brander/SCR*	525/105* mg/Nm <sup>3</sup>	
	1 – <5 MW <sub>th</sub>	< 4000 u	Low NO <sub>x</sub> -brander/SCR*	525/105* mg/Nm <sup>3</sup>	1-2MW: 185mg/Nm <sup>3</sup>
		> 4000 u	SNCR/SCR*	345/105* mg/Nm <sup>3</sup>	2-5 MW: 525 mg/Nm <sup>3</sup>
	5 – <20 MW <sub>th</sub>	< 4000 u	SNCR/SCR*	315/105* mg/Nm <sup>3</sup>	400 mg/Nm <sup>3</sup>
		> 4000 u			
20 – <50MW <sub>th</sub>	< 4000 u	SNCR/SCR*	290/80* mg/Nm <sup>3</sup>	150 mg/Nm <sup>3</sup>	
	> 4000 u	SCR	80 mg/Nm <sup>3</sup>		
SO <sub>2</sub>	< 1MW <sub>th</sub>	< 4000 u	Droog sorbent injectie	510 mg/Nm <sup>3</sup> OPM1	170 mg/Nm <sup>3</sup>
		> 4000 u			
	1 – <5 MW <sub>th</sub>	< 4000 u	Droog sorbent injectie	510 mg/Nm <sup>3</sup> OPM1	1-2MW: 170 mg/Nm <sup>3</sup>
		> 4000 u			2-5 MW: 1700 mg/Nm <sup>3</sup>
	5 – <20 MW <sub>th</sub>	< 4000 u	Droog sorbent injectie	425 mg/Nm <sup>3</sup>	1700 mg/Nm <sup>3</sup>
		> 4000 u			
	20 – <50MW <sub>th</sub>	< 4000 u	Natte water	85 mg/Nm <sup>3</sup>	1700 mg/Nm <sup>3</sup>
		> 4000 u			
Stof	< 1MW <sub>th</sub>	< 4000 u	Optimale verbranding	100 mg/Nm <sup>3</sup>	100 mg/Nm <sup>3</sup>
		> 4000 u			
	1 – <5 MW <sub>th</sub>	< 4000 u	Optimale verbranding	100 mg/Nm <sup>3</sup>	100 mg/Nm <sup>3</sup>
		> 4000 u			
	5 – <20 MW <sub>th</sub>	< 4000 u	Optimale verbranding	100 mg/Nm <sup>3</sup> OPM2	50 mg/Nm <sup>3</sup>
		> 4000 u	Multicycloon	35 mg/Nm <sup>3</sup>	
	20 – <50MW <sub>th</sub>	< 4000 u	Multicycloon	35 mg/Nm <sup>3</sup>	50 mg/Nm <sup>3</sup>
		> 4000 u			

\* De techniek en geassocieerd emissieniveau met de asterisk (SCR) zijn enkel BBT en BBT-GEN in het lage kostenscenario.

OPM 1: Deze BBT gerelateerde emissiewaarde is die voor residuele brandstoffen. Dit onderscheid naar brandstoffen wordt in de huidige VLAREM II wetgeving niet gemaakt: de emissiegrenswaarden zijn nu geldend voor alle vloeibare fossiele brandstoffen.

OPM 2: Deze BBT gerelateerde emissiewaarde is die voor residuele brandstoffen. Dit onderscheid naar brandstoffen wordt in de huidige VLAREM II wetgeving niet gemaakt: de emissiegrenswaarden zijn nu geldend voor alle vloeibare fossiele brandstoffen. Vanuit de algemene betrachting om de impact op het milieu in zijn geheel maximaal te beperken, stellen we hier voor de huidige emissiegrenswaarde te behouden.

Omschakeling van residuele brandstoffen naar gasolie verwarming of gasolie verwarming extra (respectievelijk met 0,1% en 0,005% zwavelgehalte) werd niet als BBT beschouwd omwille van de hoge meerkost door verschillen in brandstofprijzen (werkingskosten) en komt dus niet in bovenstaande tabel voor. Uiteraard leidt het tot een milieuvoordeel wanneer bij aankoop van een nieuwe installatie geopteerd wordt voor een schonere brandstof. Gewoon door keuze van gasolie in plaats van residuele brandstoffen, kan een grote SO<sub>2</sub>-reductie bekomen worden. Het stimuleren hiervan in het beleid blijft dan ook een optie, door het aanmoedigen van de schonere brandstoffen bij kleinere installaties bijvoorbeeld door een aangepast subsidiebeleid.

Tabel 37: BBT en geassocieerde emissieniveaus voor nieuwe stookinstallaties op gasolie verwarming (lichte stookolie 0,1% S)

	<i>Draaiuren</i>	<i>Vermogen</i>	<i>BBT</i>	<i>Geassocieerd emissieniveau (3% O<sub>2</sub>)</i>	<i>Huidige norm VLAREM II</i>	
NO <sub>x</sub> <sup>OPM</sup>	< 1MW <sub>th</sub>	< 4000 u	Low NO <sub>x</sub> -brander	185 mg/Nm <sup>3</sup>	185 mg/Nm <sup>3</sup>	
		> 4000 u				
	1 – <5 MW <sub>th</sub>	< 4000 u	Low-NO <sub>x</sub> brander	185 mg/Nm <sup>3</sup>	1-2MW: 185mg/Nm <sup>3</sup>	
		> 4000 u	Low-NO <sub>x</sub> brander/SCR*	185/40* mg/Nm <sup>3</sup>	2-5 MW: 525 mg/Nm <sup>3</sup>	
	5 – <20 MW <sub>th</sub>	< 4000 u	Low-NO <sub>x</sub> brander/SCR*	230/50* mg/Nm <sup>3</sup>	400 mg/Nm <sup>3</sup>	
		> 4000 u	SNCR/SCR*	140/50* mg/Nm <sup>3</sup>		
	20 – <50MW <sub>th</sub>	< 4000 u	SNCR/SCR*	130/35* mg/Nm <sup>3</sup>	150 mg/Nm <sup>3</sup>	
		> 4000 u				
SO <sub>2</sub>	< 1MW <sub>th</sub>	< 4000 u	max 0,1%S	170 mg/Nm <sup>3</sup>	170 mg/Nm <sup>3</sup>	
		> 4000 u	Droog sorbent injectie	55 mg/Nm <sup>3</sup>		
	1 – <5 MW <sub>th</sub>	< 4000 u	max 0,1%S	170 mg/Nm <sup>3</sup>	1-2MW: 170 mg/Nm <sup>3</sup>	
		> 4000 u	Droog sorbent injectie	55 mg/Nm <sup>3</sup>	2-5 MW: 1700 mg/Nm <sup>3</sup>	
	5 – <20 MW <sub>th</sub>	< 4000 u	max 0,1%S	170 mg/Nm <sup>3</sup>	1700 mg/Nm <sup>3</sup>	
		> 4000 u	Droog sorbent injectie	45 mg/Nm <sup>3</sup>		
	20 – <50MW <sub>th</sub>	< 4000 u	max 0,1%S	170 mg/Nm <sup>3</sup>	1700 mg/Nm <sup>3</sup>	
		> 4000 u	Droog sorbent injectie	35 mg/Nm <sup>3</sup>		
	Stof	< 1MW <sub>th</sub>	< 4000 u	Optimale verbranding	5 mg/Nm <sup>3</sup>	100 mg/Nm <sup>3</sup>
			> 4000 u			
		1 – <5 MW <sub>th</sub>	< 4000 u	Optimale verbranding	5 mg/Nm <sup>3</sup>	100 mg/Nm <sup>3</sup>
			> 4000 u	Optimale verbranding	5 mg/Nm <sup>3</sup>	
5 – <20 MW <sub>th</sub>		< 4000 u	Optimale verbranding	5 mg/Nm <sup>3</sup>	50 mg/Nm <sup>3</sup>	
		> 4000 u	Optimale verbranding	5 mg/Nm <sup>3</sup>		
20 – <50MW <sub>th</sub>		< 4000 u	Optimale verbranding	5 mg/Nm <sup>3</sup>	50 mg/Nm <sup>3</sup>	
		> 4000 u	Optimale verbranding	5 mg/Nm <sup>3</sup>		
* De techniek en geassocieerd emissieniveau met de asterisk (SCR) zijn enkel BBT en BBT-GEN in het lage kostenscenario.						

### Gasvormige fossiele brandstoffen

Voor gasvormige brandstoffen werd enkel aardgas verder bekeken. De tabel geeft dan ook enkel voor aardgas de BBT geselecteerde technieken en hun emissieniveau weer. Enkel NO<sub>x</sub> is hier een echt belangrijke milieuparameter: voor andere polluenten gereguleerd in VLAREM II wordt geen nieuw voorstel gedaan.

Tabel 38: BBT en geassocieerde emissieniveaus voor nieuwe stookinstallaties op aardgas

	Vermogen	Draaiuren	BBT	Geassocieerd emissieniveau (3% O <sub>2</sub> )	Huidige norm VLAREM II
NO <sub>x</sub>	< 1MW <sub>th</sub>	< 4000 u	Lage NO <sub>x</sub> -brander en optimalisatie	80 mg/Nm <sup>3</sup>	80 mg/Nm <sup>3</sup>
		> 4000 u			
	1 – <5 MW <sub>th</sub>	< 4000 u	Lage NO <sub>x</sub> -brander en optimalisatie	80 mg/Nm <sup>3</sup>	80 mg/Nm <sup>3</sup>
		> 4000 u			
	5 – <20 MW <sub>th</sub>	< 4000 u	Lage NO <sub>x</sub> -brander en optimalisatie	80 mg/Nm <sup>3</sup>	150 mg/Nm <sup>3</sup>
		> 4000 u	Lage NO <sub>x</sub> -brander en optimalisatie / SCR *	80/20* mg/Nm <sup>3</sup>	
	20 – <50MW <sub>th</sub>	< 4000 u	Lage NO <sub>x</sub> -brander en optimalisatie / SNCR *	100/55* mg/Nm <sup>3</sup>	150 mg/Nm <sup>3</sup>
		> 4000 u	SNCR / SCR *	55/15* mg/Nm <sup>3</sup>	

\* De techniek en geassocieerd emissieniveau met de asterisk (SNCR of SCR) zijn enkel BBT en BBT-GEN in het lage kostenscenario.

### 6.1.3 Stationaire motoren

Voor stationaire motoren wordt onderscheid gemaakt tussen dieselmotoren en gasmotoren. Ook dual fuel motoren zijn uiteraard van belang, maar voor dergelijke motoren blijken weinig of geen nieuwe ontwikkelingen: verdere berekeningen zijn dan ook niet gebeurd voor deze installaties.

Nageschakelde emissiereducerende technieken, vermeld in de tabellen hieronder als de BBT, zijn enkel BBT in combinatie met de nodige primaire basismaatregelen (vb. optimalisatie procesvoering, optimaal ontwerp en dimensionering, ...).

## Gasmotoren

Tabel 39: BBT en geassocieerde emissieniveaus voor nieuwe stationaire gasmotoren (> 360 u)

	Vermogen	Draaiuren	BBT	Geassocieerd emissieniveau (5 % O <sub>2</sub> )	Huidige norm VLAREM II
NO <sub>x</sub>	< 1MW <sub>th</sub>	< 2000 u	Advanced lean burn	250 mg/Nm <sup>3</sup>	≤ 1 MW: 500 x η/30 mg/Nm <sup>3</sup>
		> 2000 u	SCR	50 mg/Nm <sup>3</sup>	
	1 – <5 MW <sub>th</sub>	< 2000 u	Advanced lean burn	250 mg/Nm <sup>3</sup>	500 mg/Nm <sup>3</sup>
		> 2000 u	SCR	50 mg/Nm <sup>3</sup>	
	5 – <20 MW <sub>th</sub>	< 2000 u	SCR	50 mg/Nm <sup>3</sup>	250 mg/Nm <sup>3</sup>
		> 2000 u			
20 – <50 MW <sub>th</sub>	< 2000 u	SCR	50 mg/Nm <sup>3</sup>	250 mg/Nm <sup>3</sup>	
	> 2000 u				

## Dieselmotoren

Voor dieselmotoren werden opnieuw berekeningen uitgevoerd per brandstoftype. De BBT conclusies en BBT geassocieerde emissieniveaus zijn dan ook op hetzelfde niveau, per brandstof, gerapporteerd: voor residuele brandstoffen, gasolie verwarming en gasolie verwarming extra (~diesel).

Tabel 40: BBT en geassocieerde emissieniveaus voor nieuwe stationaire dieselmotoren op residuele brandstoffen (1% S) (> 360 u)

	Vermogen	Draaiuren	BBT	Geassocieerd emissieniveau (5 % O <sub>2</sub> )	Huidige norm VLAREM II
SO <sub>2</sub>	< 1MW <sub>th</sub>	< 2000 u	SCR	500 mg/Nm <sup>3</sup>	1000 mg/Nm <sup>3</sup>
		> 2000 u			
	1 – <5 MW <sub>th</sub>	< 2000 u	SCR	500 mg/Nm <sup>3</sup>	1000 mg/Nm <sup>3</sup>
		> 2000 u			
	5 – <20 MW <sub>th</sub>	< 2000 u	SCR	250 mg/Nm <sup>3</sup>	350 mg/Nm <sup>3</sup>
		> 2000 u			
	20 – <50 MW <sub>th</sub>	< 2000 u	SCR	250 mg/Nm <sup>3</sup>	350 mg/Nm <sup>3</sup>
		> 2000 u			
< 1MW <sub>th</sub>	< 2000 u	Droog sorbent injectie	450 mg/Nm <sup>3</sup>	Max 1% S	
					> 2000 u
	1 – <5 MW <sub>th</sub>	< 2000 u	Droog sorbent injectie	450 mg/Nm <sup>3</sup>	Max 1% S
		> 2000 u			
5 – <20 MW <sub>th</sub>	< 2000 u	Droog sorbent injectie	375 mg/Nm <sup>3</sup>	Max 1% S	
	> 2000 u				
20 – <50 MW <sub>th</sub>	< 2000 u	Natte wasser	75 mg/Nm <sup>3</sup>	Max 1% S	
	> 2000 u				

Stof	< 1MW <sub>th</sub>	< 2000 u	Roetfilter	20 mg/Nm <sup>3</sup>	50 mg/Nm <sup>3</sup>
		> 2000 u			
	1 – <5 MW <sub>th</sub>	< 2000 u	Roetfilter	20 mg/Nm <sup>3</sup>	50 mg/Nm <sup>3</sup>
		> 2000 u			
5 – <20 MW <sub>th</sub>	< 2000 u	Roetfilter	20 mg/Nm <sup>3</sup>	50 mg/Nm <sup>3</sup>	
	> 2000 u				
20 – <50 MW <sub>th</sub>	< 2000 u	Roetfilter	20 mg/Nm <sup>3</sup>	50 mg/Nm <sup>3</sup>	
	> 2000 u				

Tabel 41: BBT en geassocieerde emissieniveaus voor nieuwe stationaire dieselmotoren op gasolie verwarming (0,1%S) (> 360 u)

	Vermogen	Draaiuren	BBT	Geassocieerd emissieniveau (5 % O <sub>2</sub> )	Huidige norm VLAREM II
	< 1MW <sub>th</sub>	< 2000 u	SCR	400 mg/Nm <sup>3</sup>	1000 mg/Nm <sup>3</sup>
		> 2000 u			
	1 – <5 MW <sub>th</sub>	< 2000 u	SCR	400 mg/Nm <sup>3</sup>	1000 mg/Nm <sup>3</sup>
		> 2000 u			
5 – <20 MW <sub>th</sub>	< 2000 u	SCR	200 mg/Nm <sup>3</sup>	350 mg/Nm <sup>3</sup>	
	> 2000 u				
20 – <50 MW <sub>th</sub>	< 2000 u	SCR	200 mg/Nm <sup>3</sup>	350 mg/Nm <sup>3</sup>	
	> 2000 u				
SO <sub>2</sub>	< 1MW <sub>th</sub>	< 2000 u	Max 0,1%S	150 mg/Nm <sup>3</sup>	Max 0,1% S
		> 2000 u	Droog sorbent injectie	50 mg/Nm <sup>3</sup>	
	1 – <5 MW <sub>th</sub>	< 2000 u	Max 0,1%S	150 mg/Nm <sup>3</sup>	Max 1% S
		> 2000 u	Droog sorbent injectie	50 mg/Nm <sup>3</sup>	
	5 – <20 MW <sub>th</sub>	< 2000 u	Max 0,1%S	150 mg/Nm <sup>3</sup>	Max 1% S
		> 2000 u	Droog sorbent injectie	40 mg/Nm <sup>3</sup>	
	20 – <50 MW <sub>th</sub>	< 2000 u	Max 0,1%S	150 mg/Nm <sup>3</sup>	Max 1% S
		> 2000 u	Natte wasser	10 mg/Nm <sup>3</sup>	
Stof	< 1MW <sub>th</sub>	< 2000 u	Optimale verbranding	50 mg/Nm <sup>3</sup>	50 mg/Nm <sup>3</sup>
		> 2000 u			
	1 – <5 MW <sub>th</sub>	< 2000 u	Optimale verbranding	50 mg/Nm <sup>3</sup>	50 mg/Nm <sup>3</sup>
		> 2000 u			
	5 – <20 MW <sub>th</sub>	< 2000 u	Optimale verbranding	50 mg/Nm <sup>3</sup>	50 mg/Nm <sup>3</sup>
		> 2000 u			
	20 – <50 MW <sub>th</sub>	< 2000 u	Optimale verbranding	50 mg/Nm <sup>3</sup>	50 mg/Nm <sup>3</sup>
		> 2000 u			



Tabel 42: BBT en geassocieerde emissieniveaus voor nieuwe stationaire dieselmotoren op gasolie verwarming extra (0,005%S) (> 360 u)

	Vermogen	Draaiuren	BBT	Geassocieerd emissieniveau (5 % O <sub>2</sub> )	Huidige norm VLAREM II	
NO <sub>x</sub>	< 1MW <sub>th</sub>	< 2000 u	SCR	400 mg/Nm <sup>3</sup>	1000 mg/Nm <sup>3</sup>	
		> 2000 u				
	1 – <5 MW <sub>th</sub>	< 2000 u	SCR	400 mg/Nm <sup>3</sup>	1000 mg/Nm <sup>3</sup>	
		> 2000 u				
	5 – <20 MW <sub>th</sub>	< 2000 u	SCR	200 mg/Nm <sup>3</sup>	350 mg/Nm <sup>3</sup>	
		> 2000 u				
	20 – <50 MW <sub>th</sub>	< 2000 u	SCR	200 mg/Nm <sup>3</sup>	350 mg/Nm <sup>3</sup>	
		> 2000 u				
SO <sub>2</sub>	< 1MW <sub>th</sub>	< 2000 u	Max 0,005%S	10 mg/Nm <sup>3</sup>	Max 0,1% S	
		> 2000 u			Max 0,1% S	
	1 – <5 MW <sub>th</sub>	< 2000 u				Max 0,1% S
		> 2000 u				Max 0,1% S
	5 – <20 MW <sub>th</sub>	< 2000 u				Max 0,1% S
		> 2000 u				Max 0,1% S
	20 – <50 MW <sub>th</sub>	< 2000 u				Max 0,1% S
		> 2000 u				Max 0,1% S

#### 6.1.4 Gasturbines

Voor gasturbines werden geen nieuwe ontwikkelingen aangehaald. De BBT voor gasturbines is de toepassing van Dry Low NO<sub>x</sub> of water-/stoominjectie voor de beperking van NO<sub>x</sub>-emissies. Indien de turbines worden gestookt met vloeibare brandstoffen is het de brandstofkeuze die bepalend is voor het emissieniveau: een brandstof met een laag zwavelgehalte en een laag asgehalte zijn hierbij te verkiezen. Tabel 43 toont de huidige emissiegrenswaarden in VLAREM II voor gasturbines: we doen hier dus geen aanbevelingen.

Tabel 43: Huidige emissiegrenswaarden in VLAREM II voor gasturbines < 50 MW

Gasturbines	Huidige VLAREM II norm			
	Draaiuren	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	Stof
Vloeibaar	> 360 u	75 mg/Nm <sup>3</sup>	0,10% S	30 mg/Nm <sup>3</sup>
	< 360u	200 mg/Nm <sup>3</sup>	0,10% S	50 mg/Nm <sup>3</sup>
Gas	> 360 u	50 mg/Nm <sup>3</sup>	12 mg/Nm <sup>3</sup>	/
	< 360u	150 mg/Nm <sup>3</sup>	12 mg/Nm <sup>3</sup>	/

#### 6.1.5 Toetsing van het voorstel aan de huidige emissiegrenswaarden

##### a. Stookinstallaties

Zoals blijkt uit Tabel 35 t.e.m. Tabel 38 liggen de met BBT geassocieerde emissieniveau in een aantal gevallen lager dan de huidige VLAREM II normen. Een verstrenging van de VLAREM normen tot op het BBT-niveau dient dus zeker overwogen te worden. In de beslissing om de normen te verstrengen, zijn volgende overwegingen van belang.

### **Vaste brandstoffen**

Voor stookinstallaties op vaste brandstoffen zijn op basis van de BBT-analyse in principe verschillende verstrengingen mogelijk voor zowel  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$  en stof (voldoende draaiuren). Indien de verstrenging voor elk van de drie parameters gelijktijdig wordt doorgevoerd kunnen de kosten voor de exploitanten erg hoog oplopen, omdat zowel voor  $\text{NO}_x$  als voor  $\text{SO}_x$  en voor stof end-of-pipe technieken nodig zullen zijn. Er kan met andere woorden een keuze gemaakt worden om de verstrenging enkel voor de – voor het beleid - meest significante pollutent te laten doorgaan of de technieken gefaseerd op te leggen. Een omgekeerde visie is uiteraard ook mogelijk: door het zetten van strenge normen, kan men de keuze voor een andere, schonere brandstof aanmoedigen waardoor steenkool ook naar de toekomst toe minder als brandstof gekozen zal worden. In Nederland hanteert men deze gedachtengang in het recent herziene BEMS.

Het gebruik van steenkool in de tuinbouw is momenteel vooral een gevolg van de hoge olie- en gasprijzen. Naar beleidsbeslissingen toe zou dus ook de relatie tussen brandstofprijzen en installatieprijzen (met of zonder end-of-pipe) mee moeten/kunnen spelen. Deze laatste redenering is ook belangrijk naar het geassocieerde stofemissieniveau voor installaties  $<1 \text{ MW}_{\text{th}}$  en  $1 - 5 \text{ MW}_{\text{th}}$  ( $<4000$  draaiuren). Voor deze installaties is geen nageschakelde techniek als BBT beschouwd en is optimale verbranding BBT voor het beperken van de stofemissies (zie eerdere opmerking onder 6.1.5.a over stofemissies). Dit zou er echter toe leiden dat de VLAREM norm zou kunnen worden versoepeld van  $100 \text{ mg/Nm}^3$  naar  $300 \text{ mg/Nm}^3$ . Dit is echter een niet duurzaam, onaanvaardbaar emissieniveau, zeker voor dergelijke kleine installaties. Vanuit het standpunt dat de impact op het milieu maximaal mogelijk beperkt moet worden, stelt het BBT-kenniscentrum een maximum emissieniveau voor van  $100 \text{ mg/Nm}^3$ , de huidige VLAREM II emissiegrenswaarde. Er bestaan namelijk alternatieven, de juiste combinatie tussen stooktechniek en brandstofkwaliteit, die maakt dat emissies tussen  $20$  en  $90 \text{ mg/Nm}^3$  haalbaar zijn (leveranciersinformatie, 2011) (zie 5.2.1). Anderzijds kan op deze manier voorkomen worden dat men bij kleine stookinstallaties automatisch voor steenkool gaat kiezen als brandstof: de lage brandstofprijs en een te lakse emissiegrenswaarde kunnen immers tot deze keuze leiden. In Nederland wordt voor deze kleine installaties een doekenfilter of ESP opgelegd om de emissieniveaus te kunnen halen. Deze technieken zijn inderdaad technisch beschikbaar maar volgens de berekeningen in deze studie niet kosteneffectief voor dergelijke kleine installaties, uiteraard onder de gehanteerde aannames (zie hoofdstuk 5).

### **Vloeibare brandstoffen**

Voor vloeibare brandstoffen werden berekeningen telkens opgesplitst voor residuele brandstoffen en gasolie verwarming. Dit is immers van belang voor het haalbare emissieniveau bij de referentie-installatie en dus ook van belang voor de kostenevaluatie. Dit maakt dat de huidige VLAREM II wetgeving niet in alle gevallen gelijk loopt met de BBT gerelateerde emissiegrenswaarden en daardoor ook moeilijk te vergelijken is.

Verder geldt hier een analoge redenering als bij vaste brandstoffen: op basis van de BBT-analyse zijn voor verschillende pollutenten verstrengingen mogelijk. Indien de verstrenging voor elk van de parameters gelijktijdig wordt doorgevoerd, kunnen de kosten voor de exploitanten erg hoog oplopen, omdat zowel voor  $\text{NO}_x$  als voor  $\text{SO}_x$  end-of-pipe technieken nodig zullen zijn. Er kan dus een keuze gemaakt worden om de verstrenging enkel voor de – voor het beleid - meest significante pollutent te laten doorgaan of de technieken gefaseerd op te leggen. Een omgekeerde visie is uiteraard ook mogelijk: door het zetten van strenge normen, kan men de keuze voor een andere, schonere brandstof aanmoedigen. Anderzijds kan gekozen worden om  $\text{SO}_2$ -emissies te reguleren volgens zwavelgehalte van de brandstof (zoals nu gebeurt) en enkel end-of pipe technieken nodig te maken voor  $\text{NO}_x$  bij middelgrote stookinstallaties indien residuele brandstoffen worden gebruikt.

Voor vloeibare brandstoffen ligt de huidige NO<sub>x</sub> norm voor kleine installaties lager dan de BBT geassocieerde emissieniveaus voor residuele brandstoffen. Dit is te wijten aan het feit dat de VLAREM II norm voor installaties < 2 MW gebaseerd is op gasolie verwarming. Het beleid kiest er op deze manier voor om impliciet, door het zetten van deze lage NO<sub>x</sub> emissiegrenswaarde, gasolie verwarming aan te moedigen. Verkiest een exploitant alsnog voor residuele brandstoffen, dan zullen extra maatregelen nodig zijn. Voor residuele brandstoffen wordt op het eerste zicht dus een versoepeling van VLAREM II voorgesteld. Het BBT-kenniscentrum raadt echter aan de huidige VLAREM norm te behouden, met het oog op de maximale beperking van de milieu-impact.

Er zou overwogen kunnen worden om ook in VLAREM het onderscheid naar de verschillende vloeibare brandstoffen door te trekken. Anderzijds is de huidige aanpak, met bijvoorbeeld de impliciete voorkeur voor gasolie bij NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub> (tot 2 MW) een mogelijke manier om via het beleid de voorkeur te geven aan de schonere brandstof.

#### *Gasvormige brandstoffen*

Voor stookinstallaties gestookt met gasvormige fossiele brandstoffen dient onderscheid gemaakt te worden tussen aardgas en andere gassen, zoals industriegas of mijngas. Voor aardgas is enkel NO<sub>x</sub> een relevante milieuparameter. Voor installaties gestookt met andere gasvormige brandstoffen is weinig of geen nieuwe informatie beschikbaar en worden geen nieuwe aanbevelingen geformuleerd.

Uit de BBT conclusies en aanbevelingen (Tabel 38) blijkt dat er een verstrenging mogelijk is voor installaties > 5 MW, het voorgestelde emissieniveau is afhankelijk van het aantal draaiuren en het vermogen.

#### **b. Stationaire motoren**

Voor stationaire gasmotoren blijkt uit Tabel 39 dat een verstrenging voor NO<sub>x</sub> mogelijk is. In VLAREM II worden motoren onderverdeeld volgens draaiuren, namelijk meer of minder dan 360 u op jaarbasis. Dit onderscheid is er om noodstroom motoren te onderscheiden van de andere stationaire toepassingen. Met motoren < 360 u werd geen rekening gehouden in deze studie.

Voor de BBT-analyse van stationaire dieselmotoren werd opnieuw een onderscheid gemaakt tussen verschillende types brandstoffen, met name residuele brandstoffen en gasolie verwarming (extra) en diesel. In VLAREM II wordt dit onderscheid (tussen residuele brandstof en gasolie) enkel gemaakt bij de SO<sub>2</sub>-normen.

Zowel voor NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> als stof zijn aanpassingen aan de huidige normen mogelijk op basis van de BBT. Om SO<sub>2</sub>-emissies te beperken reguleert men best op zwavelgehalte van de brandstof. End-of-pipe technieken (droog sorbent injectie) zijn enkel voor residuele brandstoffen BBT. Voor gasolie verwarming en gasolie verwarming extra zorgt het lage zwavelgehalte van de brandstof (respectievelijk 0,1% en 0,005% S) voor lagere emissies.

Voor het reduceren van stofemissies bij dieselmotoren op stookolie is enkel een roetfilter een reeds 'gekende' techniek. Deze blijkt als BBT in aanmerking te komen, maar enkel bij voldoende draaiuren (dus zeker niet voor noodgeneratoren bijvoorbeeld). Uit ervaringen in het buitenland (vb. Nederland) blijken roetfilters steeds vaker te worden toegepast en dus in principe ook haalbaar te zijn voor Vlaanderen. Voor gasolie verwarming (extra) is deze techniek niet BBT omwille van de te hoge kostprijs (in €/kg stof gereduceerd).

#### **c. Gasturbines**

Voor gasturbines werd geen nieuwe informatie ter beschikking gesteld. Dry low NO<sub>x</sub> is BBT voor de reductie van NO<sub>x</sub>-emissies bij deze installaties. Zwavelemisssies, bij gebruik van stookolie, zijn ook hier best te reguleren aan de hand van het zwavelgehalte van de brandstof. Er worden geen nieuwe aanbevelingen geformuleerd voor deze installaties.

## 6.2 Aanbevelingen voor ecologiepremie

### 6.2.1 Inleiding

Met de ecologiepremie wil de Vlaamse overheid ondernemingen stimuleren om hun productieproces milieuvriendelijk en energiezuinig te organiseren. De overheid neemt daarbij een gedeelte van de extra investeringskosten voor haar rekening. De regeling van de ecologiepremie-plus kadert in het economische beleid van de Vlaamse regering dat de ontwikkeling van een groene economie centraal stelt.

In deze paragraaf worden aanbevelingen gegeven om één of meerdere van de besproken milieuvriendelijke technologieën in aanmerking te laten komen voor deze investeringssteun.

Onderstaand is de stand van zaken m.b.t. de ecologiepremieregeling op het moment van schrijven van deze BBT-studie weergegeven.

Alle relevante en meest actuele info over de ecologiepremie is te consulteren via de website van het Agentschap Ondernemen: [www.vlaanderen.be/ecologiepremie](http://www.vlaanderen.be/ecologiepremie).

#### → 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 het besluit van de Vlaamse regering van 17 december 2010. Op 24 januari 2011 heeft de Vlaamse regering de regelgeving voor de ecologiepremie grondig gewijzigd. De ecologiepremieregeling volgens een call systeem werd opgeheven en sinds 1 februari 2011 is een nieuwe regeling volgens een 'open systeem' van kracht; de ecologiepremie- plus.

#### → Subsidie volgens "ecologiepremie-plus"

De ecologiepremie-plus werkt volgens een 'open systeem' dat een grote rechtszekerheid biedt voor de bedrijven. Een bedrijf dat aan de criteria voor de ecologiepremie voldoet, komt in aanmerking voor de premie en weet vooraf welke steun het mag verwachten.

Aan elke technologie van de limitatieve technologieënlijst wordt op basis van haar performantie een ecologiegetal toegekend. Op basis van dit ecologiegetal wordt de technologie ingeschaald in een ecklasse met daaraan gekoppeld een subsidiepercentage. Het subsidiepercentage wordt bepaald op basis van de ecklasse waartoe een technologie behoort en varieert in functie van de grootte van de onderneming.

#### → Ecologiepremie en ecologie-investeringen

De ecologiepremie wordt toegekend aan ecologie-investeringen. Ecologie-investeringen zijn investeringen in nieuwe milieutechnologieën, energietechnologieën die leiden tot energiebesparing, evenals hernieuwbare energie technologieën. Installaties of onderdelen waarvoor gronenestroomcertificaten of warmtekrachtcertificaten kunnen bekomen worden, komen niet in aanmerking voor de premie. De volledige info over de ecologiepremie is te vinden via [www.ondernemen.vlaanderen.be](http://www.ondernemen.vlaanderen.be).

#### → 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;
- het meerkostpercentage;
- het ecologiegetal;
- de ecoklasse;
- het subsidiepercentage voor KMO en GO;
- de essentiële componenten;
- de niet-essentiële componenten (louter informatief; komen niet in aanmerking voor de premie).

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, toepassings-mogelijkheden, beperkingen bij het aanvragen, ...;
- het technologietype :  
Het technologietype geeft aan welk type technologie het is (milieutechnologie, energietechnologie met energiebesparing of hernieuwbare energie);
- 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);
- het ecologiegetal :  
Het ecologiegetal is een getal variërende tussen 1 en 9 dat de performantie van een technologie weergeeft. De performantie geeft aan in welke mate de technologie bijdraagt tot de realisatie van de Kyoto-doelstellingen en de milieudoelstellingen van de Vlaamse overheid;
- de ecoklasse :  
De technologieën worden op basis van hun ecologiegetal ingedeeld in een ecoklasse (A, B, C of D). Een technologie behorende tot klasse A is performanter dan een technologie van klasse B, C en D;
- het subsidiepercentage:  
Het subsidiepercentage wordt bepaald op basis van de ecoklasse waartoe een technologie behoort en varieert in functie van de grootte van de onderneming (KMO, GO). De subsidie wordt berekend op de meerkost en het subsidieplafond bedraagt 1 Mln euro per aanvraag.
- de essentiële componenten van een technologie :  
Essentiële componenten zijn onderdelen van de technologie die tot de kern van de installatie behoren. Het zijn componenten die in elke mogelijke toepassing van de technologie steeds aanwezig zijn. De

essentiële componenten geven aan welke onderdelen precies voor steun in aanmerking komen. De aanvraag gebeurt door het opgeven van de kostprijs van alle essentiële componenten, waarop de webapplicatie de steun berekent. Indien een essentiële component ontbreekt dan kan de technologie in principe niet aangevraagd worden.

### 6.2.2 Toetsing van milieuvriendelijke technieken aan 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 bedrijfstad op korte termijn is mogelijk) maar is (nog) geen standaardtechnologie\* in de bedrijfstad;
- 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 marktverbreding 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 milieuvordelen waarbij nog geen Europese normen zijn goedgekeurd.

EOP-T kunnen onder bepaalde voorwaarden selectief worden voorgesteld voor opname op de LTL. Bijvoorbeeld in volgende gevallen:

- er is geen procesgeïntegreerd alternatief ter beschikking waarmee in de betrokken sector een gelijkaardig milieuresultaat behaald kan worden;
- de end-of-pipe maatregel levert een belangrijke bijdrage aan het bereiken van de door de overheid vastgelegde milieukwaliteitsdoelstellingen (b.v. NEC-doelstellingen, actieplan fijn stof, ...)
- ...

### 6.2.3 Aanbevelingen voor LTL

Momenteel staat voor stookinstallaties op fossiele brandstoffen slechts 1 techniek op de LTL, namelijk 'low-NO<sub>x</sub>-brander met een vermogen van maximaal 300 MW<sub>th</sub>'.

<b>technolienr.</b>	<b>Naam techniek</b>		
1355	Low-NO <sub>x</sub> -brander met een vermogen van maximaal 300 MW <sub>th</sub> .		
<b>Titels</b>			
<p>Het verminderen van de NO<sub>x</sub>-vorming bij ketels en fornuizen met een thermisch vermogen van maximaal 300 MW<sub>th</sub> door toepassing van brander-/vuurhaardtechnieken, zodanig dat de NO<sub>x</sub>-uitworp met het rookgas over het gehele regelbereik cq. werkingsgebied niet meer bedraagt dan :- 70 mg/Nm<sup>3</sup> (3% O<sub>2</sub>) in geval aardgas als brandstof; - 120 mg/Nm<sup>3</sup> (3% O<sub>2</sub>) in geval stookolie als brandstof. Voor grotere vermogens (&gt; 300 MW<sub>th</sub>) is er nog een potentieel om de NO<sub>x</sub>-uitstoot verder te reduceren. Voor deze vermogens kan best een dossier ingediend worden met aanvraag voor een nieuwe technologie met drempelwaarden die lager liggen dan deze hierboven vermeld.</p>			
<b>Technologietype</b>	<b>meerkost</b>		
Milieutechnologie	50%		
<b>Ecologiegetal</b>	<b>Ecoklasse</b>	<b>KMO%</b>	<b>GO%</b>
6	B	20%	10%
<b>COMPONENTEN</b>			
<b>Essentiële componenten</b>			
brander of branderketelcombinatie			
<b>Niet-essentiële componenten</b>			
inpassing in het productieapparaat			
thermische verbrandingskamer			
ventilator(en)			

De grenswaarde voor NO<sub>x</sub> in geval van aardgas (70 mg/Nm<sup>3</sup>) wijkt slechts erg beperkt af van de volgens de BBT-analyse haalbare emissiewaarde bij gebruik van een nieuwe lage NO<sub>x</sub>-brander tot 20 MW (80 mg/Nm<sup>3</sup>). Boven de 20 MW is er een grotere milieuwinst te boeken (BBT-geassocieerd emissieniveau daar is 100 mg/Nm<sup>3</sup>). De grenswaarde van 70 mg/Nm<sup>3</sup> zou volgens informatie van leveranciers in bepaalde gevallen haalbaar kunnen zijn mits toepassing van zeer specifieke branders en zeer lage vuurhaardbelastingen. De meerkost die met dergelijke brander gepaard gaat bedraagt ongeveer 13% tot 20%. Daarbij komt nog een extra meerkost voor de ketel zelf: de vuurhaardbelasting moet zodanig laag zijn om 70 mg/Nm<sup>3</sup> te

kunnen halen dat dit een grotere en dus kostelijkere ketel vereist dan gewoonlijk. De haalbaarheid van nog lagere emissiewaarden ( $60 \text{ mg/Nm}^3$ ) kan door de leveranciers niet bevestigd worden over een breed vermogensgamma. We stellen daarom voor de grenswaarde in geval van aardgas te behouden op  $70 \text{ mg/Nm}^3$ .

De waarde voor stookolie ( $120 \text{ mg/Nm}^3$ ) is volgens de leveranciers en informatie in deze studie niet haalbaar met brander/vuurhaardtechnieken. We stellen daarom voor deze maatregel te schrappen van de LTL.

Samenvattend stellen we dus voor om T 1355 als volgt te wijzigen (na schrappen van de techniek voor stookolie):

*Low-NO<sub>x</sub> brander **op aardgas** met een vermogen van maximaal 300 MW<sub>th</sub>*

*Uitleg: Het verminderen van de NOX-vorming bij aardgasketels en -fornuizen met een thermisch vermogen van maximaal 300 MW<sub>th</sub> door toepassing van brander/vuurhaardtechnieken, zodanig dat de NOX-uitworp met het rookgas over het gehele regelgebied cq. Werkingsgebied niet meer bedraagt dan  $70 \text{ mg/Nm}^3$ .*

*Meerkost: **20%***

*Ecologiegetal: **3***

Verdere reductie van emissies bij stookinstallaties of stationaire motoren kan bijna uitsluitend bekomen worden door het gebruik van end-of-pipetechnieken. Tal van technieken werden in deze studie aangehaald, maar slechts enkele werden als BBT geselecteerd. De andere technieken (niet als BBT geselecteerd wegens de beperkte kostenhaalbaarheid) **kunnen** eventueel overwogen worden voor opname op de LTL (zie 5.2 Economische analyse van technieken).

Voorbeelden hiervan zijn:

- Selectieve Katalytische Reductie (SCR) voor reductie van NO<sub>x</sub> bij aardgas gestookte installaties kleiner dan 5 MW<sub>th</sub>;
- Natte wasser voor reductie van SO<sub>2</sub> bij installaties kleiner dan 20 MW<sub>th</sub> gestookt met residuele brandstoffen;
- Doekenfilter of elektrostatische precipitator (ESP) voor reductie van stof bij stookinstallaties op vaste fossiele brandstoffen, kleiner dan 20 MW<sub>th</sub>.



# LITERATUURLIJST

- Aernouts, K. en Jespers, K. 2009.** *Energiebalans Vlaanderen 2008: voorlopige schatting.* 2009.
- Ann. 2009.** *Guidance document on New Stationary Engines - Final Draft.* 2009.
- BTG. 2005.** *Energie uit biomassa, achtergrondinformatie over beleid, chemie en techniek.* Enschede : Biomass Technology Group, 2005.
- Canfield, C. A. 1999.** *Effects of diesel-water emulsion combustion on diesel engine NO<sub>x</sub> emissions.* sl : University of Florida, 1999.
- Clean Coal Technology. 1999.** *Reburning Technologies for the Control of Nitrogen Oxides Emissions from Coal-fired Boilers.* 1999.
- Coen. 2003.** Steam injection vs. FGR for the Reduction of Thermal NO<sub>x</sub>. *Coan - Clean combustion, powerful results.* [Online] november 2003. <http://www.coen.com/mktlit/brochures/pdf/tb20103.pdf>.
- COGEN Vlaanderen. 2006.** *Basishandboek warmtekrachtkoppeling.* 2006.
- Confidentieel. 2010.** 2010. *Cost-effective reduction of fine primary particulate matter emissions in Finland.*
- Karvosenoja, Niko, et al. 2007.** Helsinki : sn, 2007.
- Derden, A., et al. 2005.** *Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor de glastuinbouw.* sl : Academia Press, 2005.
- EGTEI. 2010.** *Options for limit values for emissions of dust from small combustion installations < 50 MW<sub>th</sub>.* sl : UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution, Subgroup on Small Combustion Installations under EGTEI, 2010.
- EGTEI stationary engines sub-group. 2008.** *Draft background paper on revision of technical annexes of the UNECE CLRTAP Gothenburg Protocol.* 2008.
- EIPPC. 2006.** *Best Available Techniques Reference Document for Large Combustion Plants.* sl : European IPPC Bureau, 2006.
- Emerachem. 2004.** Emerachem publications. *Emerachem.* [Online] 5 januari 2004. [Citaat van: 19 april 2010.] <http://www.emerachem.com>.
- Euromot & EGTEI Round Table Meeting. Wagner, Michael. 2008.* Frankfurt : sn, 2008.
- European Commission. update 2009.** *EU Energy Trends to 2030.* update 2009.
- Goovaerts, L., et al. 2008.** *Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor verbranding van hernieuwbare brandstoffen.* Gent : Academia Press, 2008.
- Goovaerts, L., et al. 2002.** *Beste Beschikbare Technieken voor stookinstallaties en stationaire motoren.* Gent : Academia Press, 2002.
- IEA Clean Coal Centre. 2010.** *Clean Coal Technologies.* IEA Clean Coal Centre. [Online] 2010. [Citaat van: 26 februari 2010.] <http://www.iea-coal.org.uk>.
- Kitto, J.B. 1996.** *Air pollution control for industrial boiler systems.* Florida : Babcock & Wilcox, 1996.

- Kroon, P. en Wetzels, W. 2008.** *Onderbouwing actualisatie BEES B - Kosten en effecten van de voorgenomen wijzigingen van het besluit emissie-eisen stookinstallaties B.* sl : ECN, 2008.
- Kubica, K., Paradiz, B. en Dilara, P. 2007.** *Small combustion installations: Techniques, emissions and measures for emission reduction.* EC Joint Research Centre. Ispra (It) : European Commission, 2007.
- Lemmens, B., et al. 2004.** *Gids Luchtzuiveringstechnieken.* Gent : Academia Press, 2004. ISBN 90 382 0624 0.
- Nussbaumer, Thomas. 2010.** *Overview on technologies for biomass combustion and emission levels of particulate matter.* Verenum. Zürich : Swiss Federal Office for the Environment (FOEN), 2010.
- Oland, C. B. 2002.** *Guide to low-emission boiler and combustion equipment selection.* Office of Industrial Technology, U.S. Department of Energy. Tennessee : Oak Ridge National Laboratory, 2002.
- SenterNovem InfoMil. 2009.** *Handreiking luchtmissie beperkende technieken.* sl : InfoMil, 2009.
- Spirax Sarco. 2010.** The boiler house. *Spirax Sarco International Site.* [Online] 2010. [Citaat van: 22 december 2009.] [www.spiraxsarco.com](http://www.spiraxsarco.com).
- US EPA. 1998-2010.** Clearinghouse for inventories and emission factors. *United States Environmental Protection Agency.* [Online] 1998-2010. [Citaat van: 26 april 2010.] <http://www.epa.gov>.
- Viessmann. 2010.** *Persoonlijke communicatie.* 3 maart 2010.
- VNCI. 2008.** Meerjarenaafspraken energie-efficiëntie: Stooktechniek. *SenterNovem.* [Online] 2008. [Citaat van: 28 januari 2010.] <http://www.senternovem.nl/>.
- Wärtsila. 2010.** Wärtsila Technology Review. *Wärtsila.* [Online] 2010. [Citaat van: 19 april 2010.] <http://www.wartsila.com>.

## BIJLAGE 1: MEDEWERKERS VAN BBT-STUDIE

### → Kenniscentrum voor Beste Beschikbare Technieken

- Evelien Dils
  - An Derden
  - Diane Huybrechts
- BBT-kenniscentrum  
p/a VITO  
Boeretang 200  
2400 MOL  
Tel. (014)33 58 68  
Fax. (014)32 11 85  
[bbt@vito.be](mailto:bbt@vito.be)  
[www.vito.be](http://www.vito.be)  
[www.emis.vito.be](http://www.emis.vito.be)

### → Contactpersonen federaties België

- ATTB  
Associatie voor Thermische Technieken van België  
Frans Geldersstraat 7/4  
BE-1800 Vilvoorde  
[info@attb.be](mailto:info@attb.be)  
<http://www.attb.be>  
Contactpersonen: E. Vandenbosch, B. Dewilde (Weishaupt), Laurent Vercruysse (Viessmann Belgium), Walter Van Dael (Bosch Thermotechnology)
- Agoria  
Diamant building  
Bd A. Reyers Ln 80  
B-1030 Brussel  
Tel.: +32 2-706 78 00  
<http://www.agoria.be>  
Contactpersoon: Christian Dierick
- Cedicol  
Informazout  
Dauwstraat 12  
B-1070 Brussel  
Tel.: +32 78-15 21 50  
[info@informazout.be](mailto:info@informazout.be)  
<http://www.cedicol.be>  
Contactpersonen: Ward Herteleer, Kurt Van Campenhout
- Boerenbond/Innovatiesteunpunt voor land- en tuinbouw  
Diestsevest 40  
BE-3000 Leuven  
<http://www.boerenbond.be>  
<http://www.innovatiesteunpunt.be>  
Contactpersonen: Inge Goessens, Elvie Plevoets

- Fedustria  
Belgische federatie van de textiel-, hout- en meubelindustrie  
Hof-ter-Vleestdreef 5/1  
BE-1070 Brussel  
Tel.: +32 2-528 58 11  
[info@fedustria.be](mailto:info@fedustria.be)  
<http://www.fedustria.be>  
Contactpersoon: Piet Vanthournout
- Cobelpa  
Vereniging van de Belgische fabrikanten van papierdeeg, papier en karton  
Louizalaan 306  
BE-1050 Brussel  
Tel.: +32 2-646 64 50  
[General@cobelpa.be](mailto:General@cobelpa.be)  
<http://www.cobelpa.be>  
Contactpersoon: Marc Bailli

Bovenstaande personen vertegenwoordigden de bedrijven in het begeleidingscomité voor deze studie.

→ **Contactpersonen administraties/overheidsinstellingen**

- LNE – Afdeling Lucht, Hinder, Risicobeheer, Milieu & Gezondheid – dienst lucht  
Peter Meulepas en Jasper Wouters  
Graaf de Ferrarisgebouw  
Koning Albert II-laan 20, bus 8  
1000 Brussel
- LNE – Afdeling Milieuvergunningen  
Willy Deberdt  
Diestsepoort 6, bus 72  
3000 Leuven
- OVAM  
Luk Umans  
Stationsstraat 110  
2800 Mechelen
- VMM  
Myriam Rosier  
A.Van de Maelestraat 96  
9320 Erembodegem

Bovenstaande personen vertegenwoordigden de administraties en andere overheidsinstellingen in het begeleidingscomité voor deze studie.

→ **Vertegenwoordigers uit de bedrijfswereld**

- Distrigas  
Guy Verkest  
Rue Guimardstrat 1A  
1040 Brussel

Bovenstaande personen vertegenwoordigden de bedrijven in het begeleidingscomité voor deze studie.

→ Volgende personen uit de industrie namen ook deel aan de overlegmomenten, maar hebben daarbij principiële bezwaren geuit tegen bepaalde besluiten uit deze studie, opgenomen in bijlage 5

- Essenscia  
Diamant building  
A.Reyerslaan 80  
BE-1030 Brussel  
Tel.: +32 2-238 97 11  
[info@essenscia.be](mailto:info@essenscia.be)  
<http://www.essenscia.be>  
Contactpersoon: Philippe Cornille
- Borealis Polymers NV  
Ann Van Assche  
Industrieweg 148  
3583 Beringen
- BASF  
Johan de Hoog  
BASF Antwerpen  
LPM – D550  
Haven 725  
Scheldelaan 600  
2040 Antwerpen

→ Leveranciers gecontacteerd tijdens het uitvoeren van de studie

Voor het verzamelen van informatie werden verschillende leveranciers van stookinstallaties gecontacteerd. Volgende leveranciers hebben informatie aangeleverd die als input voor dit rapport heeft gediend:

- Viessmann Belgium
- Oertli Distribution Belgium/DeDietrich
- Mampaey bvba
- Riello
- Belgian Boiler Company (BBC-Loos)
- Kara Energy Systems (Nederland)
- Imtech Industry International B.V (Nederland)
- SRM-Maseth
- Callens-EMK
- Weishaupt
- Blockdias
- Eneria



## BIJLAGE 2: BUITENLANDSE WETGEVING

In deze bijlage worden overzichtstabellen gegeven van de voornaamste buitenlandse wetgeving voor stookinstallaties, stationaire motoren en gasturbines.

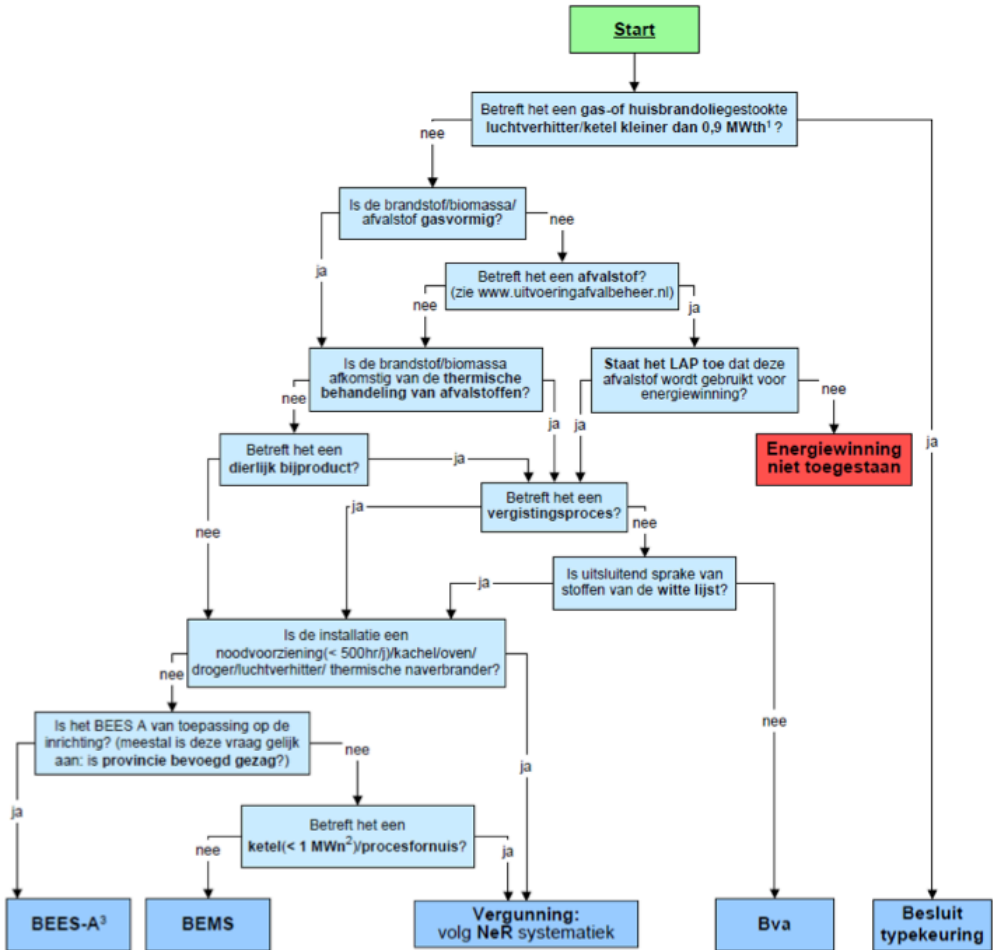
### **a. Nederland**

(persoonlijke communicatie T. Boom & P.Kroon, 2009)

Het wetgevend kader voor de verbranding van fossiele brandstoffen in stookinstallaties, stationaire motoren en gasturbines, wordt in Nederland gevormd door het BEES A, bedoeld voor stookinstallaties in grote inrichtingen (bv. elektriciteitscentrales, raffinaderijen en grote chemische bedrijven), het BEMS (Besluit emissie-eisen middelgrote stookinstallaties) en de Nederlandse Emissierichtlijn (NeR).

Het globaal wetgevend kader in Nederland voor wat betreft verbrandingsemissies wordt in onderstaand schema verduidelijkt. Voor verdere informatie omtrent de wetgeving in Nederland verwijzen we naar [www.infomil.nl](http://www.infomil.nl).

Overzicht Nederlandse regelgeving verbrandingsemissies (Infomil)



<sup>1</sup> MWth: thermisch vermogen (op basis van brandstofinput) uitgedrukt in MW

<sup>2</sup> MWn: nominaal vermogen uitgedrukt in MW

<sup>3</sup> Mits thermisch vermogen boven ondergrens besluit



### *Besluit emissie-eisen stookinstallaties milieubeheer A (BEES A)*

Een belangrijk onderscheid in de Nederlandse wetgeving voor stookinstallaties is dat tussen het BEES A en het BEMS. De grens tussen BEES A en BEMS wordt niet rechtstreeks bepaald door een vermogensgrens, wel 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, bepaald in bijlage 1 van het Inrichtingen- en vergunningenbesluit milieubeheer. Voor deze inrichtingen is de provincie het bevoegde gezag. Het BEES A kan in feite beschouwd worden als de implementatie van de Europese LCP-richtlijn. Ketelinstallaties, gasturbines, gasturbine-installaties en zuigermotoren vallen onder het BEMS. Stookinstallaties die opgesteld staan in inrichtingen die niet onder BEES A vallen, vallen ook onder het BEMS.

In het huidige BEES A 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), het type installatie waarin de brandstof wordt gebruikt en de vergunningsdatum van de installatie.

Het besluit dateert van 10/04/1987.

Het wijzigingsbesluit, gepubliceerd op 10/03/2005 betreft de implementatie van de Europese LCP richtlijn (2001/80/EC) in de Nederlandse wetgeving. Dit besluit is van kracht sinds 07/04/2005.

Op 14 oktober 2010 werd het ontwerp-wijzigingsbesluit voor de aanpassing van het Bees A, het Bva en het BEMS gepubliceerd.

Emissiegrenswaarden (mg/Nm<sup>3</sup>) voor stookinstallaties volgens BEES A

**VASTE BRANDSTOFFEN (6% O<sub>2</sub>)**

**Emissiegrenswaarden voor SO<sub>2</sub>**

**Thermisch vermogen**

**SO<sub>2</sub> - uitstoot (mg/m<sup>3</sup>)** | **toelichting en/of eventueel te stellen eisen**

Alle overige installaties Vergund vóór 29/5/87: géén SO <sub>2</sub> -eisen.				
≥ 300MW	Vergunning op/na 29/5/87 tot 1/1/90		400	Rookgasontzweveling minimaal 85% (art. 11.2).
	Vergunning op/na 1/1/90		200	Rookgasontzweveling minimaal 85% (art. 11.2).
100 MW ≤ tv < 300 MW	Vergunning op/na 29-5-87 tot 27/11/02		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°).
	Vergunning op/na 27/11/02		200	
50 MW ≤ tv < 100 MW	Vergunning op/na 29/5/87 tot 27/11/02		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°).
	Vergunning op/na 27/11/02		200	Deze eis geldt indien de installatie met biomassa wordt gestookt.
< 50 MW	Vergunning op/na 29-5-87		700	Deze eis geldt indien de installatie wordt gestookt met andere brandstoffen dan biomassa. 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°).
			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°).

<b>Emissiegrenswaarden voor NO<sub>x</sub> thermisch vermogen</b>		<b>NO<sub>x</sub> -uitstoot (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>toelichting en/of eventueel te stellen eis</b>
Alle overige installaties vergund vóór 29/5/87: géén NO <sub>x</sub> -eisen.			
≥ 500 MW	Vergunning op/na 29/5/87 tot 1/1/89	400	M.i.v. 1 januari 2016 wordt de eis 200 mg/m <sup>3</sup> .
	Vergunning in 1989	300	M.i.v. 1 januari 2016 wordt de eis 200 mg/m <sup>3</sup> .
300 MW ≤ tv	Vergunning op/na 1/1/90	200	
< 500 MW	Vergunning op/na 29/5/87 tot 1/1/89	400	
	Vergunning in 1989	300	
	Vergunning op/na 1/1/90	200	
< 300 MW	Vergunning op/na 29/5/87 tot 1/8/88	650	En indien tv≥50MW wordt de eis op 1 januari 2008 600 mg/m <sup>3</sup> .
	Vergunning op/na 1/8/88 t/m 14/10/92	500 <sup>(1)</sup>	
	Vergunning 15/10/92 t/m 31/12/93	200	
	Vergunning op/na 1/1/94	100	
<b>Emissiegrenswaarden voor stof</b>			
<b>Emissiegrenswaarden voor stof thermisch vermogen</b>		<b>stofuitstoot (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>toelichting en/of eventueel te stellen eis</b>
Alle vermogens	Vergunning vóór 29/5/87	–	Geen stofeis
	Vergunning op/na 29/5/87 tot 15/10/92	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).

Vergunning op/na 15/10/92	20	Tijdens storingen in de voorziening voor de ontzweveling 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°).
<sup>(1)</sup> In bepaalde zeldzame gevallen geldt op grond van artikel 48a een afwijkende eis voor installaties met een thermisch vermogen tussen 50 en 75 MW.		
tv= thermisch vermogen		
<b>VLOEIBARE BRANDSTOFFEN (3% O<sub>2</sub>)</b>		
<b>Emissiegrenswaarden voor SO<sub>2</sub></b>		
<b>type installatie</b>	<b>thermisch vermogen</b>	<b>toelichting en/of eventueel te stellen eis</b>
Stookinstallatie (vloeibare brandstoffen m.u.v. gasolie)	≥ 300 MW	Bij zware stookolie rookgasontzweveling min. 85% (art. 12.2).
	100 MW ≤ tv < 300 MW	Indien het zwavelgehalte van de brandstof 1% of minder is, is aan de eis voldaan (art. 33.3).
	50 MW ≤ tv < 100 MW	400–200 mg/m <sup>3</sup> lineair aflopend tussen 100 en 300 MW.
	< 50 MW	Indien zware stookolie met een zwavelgehalte van 1% of minder wordt gestookt is aan de eis voldaan (art. 33.3).
Alle overige gevallen: géén SO <sub>2</sub> -eisen.		

<b>Emissiegrenswaarden voor NO<sub>x</sub></b>		<b>thermisch vermogen</b>		<b>NO<sub>x</sub> –eis (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>toelichting en/of eventueel te stellen eis</b>
<b>type installatie</b>	<b>Alle vermogens</b>	<b>Vergunning vóór 29/5/87</b>	<b>Vergunning vóór 29/5/87</b>	<b>700<sup>(1,3)</sup></b>	
stookinstallatie in elektriciteitsbedrijf	Alle vermogens	Vergunning vóór 29/5/87	Vergunning vóór 29/5/87	200 <sup>(1,2)</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). 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	Alle vermogens	Vergunning op/na 29/5/87 tot 1/8/88	Vergunning op/na 29/5/87 tot 1/8/88	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).
		Vergunning op/na 1/8/88 tot 15/10/92	Vergunning op/na 15/10/92 tot 1/5/98	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).
		Vergunning op/na 15/10/92 tot 1/5/98	Vergunning op/na 15/10/92 tot 1/5/98	150 <sup>(2)</sup>	
		Vergunning op/na 1/5/98	Vergunning op/na 1/5/98	120	

<b>Emissiegrenswaarden voor stof</b>		<b>thermisch vermogen</b>	<b>stofeis (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>toelichting en/of eventueel te stellen eis</b>
<b>Type installatie</b>				
stookinstallatie	50 MW ≤ tv	Vergunning op/na 29/5/87 tot 27/11/02	100	vloeibare brandstof met asgehalte > 0,06%
	< 500 MW			
	≥ 100 MW	Vergunning op/na 27/11/02	30	alle vloeibare brandstoffen
	Overige gevallen ≥ 50MW	Vergunning op/na 29/5/87	50	
<p>(1) De emissie-eis geldt alleen voor stookinstallaties die na 01/01/89 nog meer dan 10.000 u, herleid op uren bij een belasting van 100%, in gebruik zullen zijn.</p> <p>(2) Bij installaties met een thermisch vermogen &lt; 2,5 MW (bovenwaarde), waarvoor voor 1/5/98 vergunning is verleend, geldt deze eis niet, tenzij op of na 1/5/98 de branders zijn vervangen.</p> <p>(3) In bepaalde zeldzame gevallen geldt op grond van artikel 48a een afwijkende eis voor installaties met een thermisch vermogen tussen 50 en 75 MW.</p> <p>tv=thermisch vermogen</p>				
<b>GASVORMIGE BRANDSTOFFEN (3% O<sub>2</sub>)</b>				
<b>Emissiegrenswaarden voor SO<sub>2</sub></b>				
<b>type installatie</b>	<b>brandstof</b>	<b>SO<sub>2</sub>-eis (mg/m<sup>3</sup>)</b>		
Stookinstallaties	Overige gassen, gestookt in een stookinstallatie van vóór 29-5-87: geen SO <sub>2</sub> -eisen			
	Speciaal raffinaderijgas	Vergunning voor 29/5/87	800 <sup>(8)</sup>	Het gaat hier om raffinaderijgas met een lage specifieke warmte-inhoud afkomstig van de laatste fase van de omzetting van raffinageresiduen in petroleumcokes.
	Overig raffinaderijgas		35 <sup>(8)</sup>	
	Cokesovengas		400 <sup>(8)</sup>	Bij vergunning ontzwevelingsinstallatie op of na 15/10/92 kan strengere eis gesteld worden t/m 200 mg/m <sup>3</sup> . (art.27.2.c)

	Hoogovengas	150 <sup>(8)</sup>	Een strengere eis kan gesteld worden t/m 120 mg/m <sup>3</sup>
	Oxygas		
Stookinstallaties	raffinaderigas	800	Geldt alleen indien raffinaderigas met lage specifieke warmte-inhoud gestookt wordt in een installatie waarvoor vergunning is verleend voor 27/11/02 of met tv < 50MW.
		35	Andere gevallen
	Cokesovengas	400	Als de ontzwavelingsinstallatie vergund is op of na 15/10/92 kan strengere SO <sub>2</sub> -eis gesteld worden t/m 200mg/m <sup>3</sup> .(art.27.2.c)
	Hoogovengas	150	Een strengere eis kan gesteld worden t/m 120 mg/m <sup>3</sup> .(art.27.2.d)
	oxygas	35	
	LPG	5	
	Andere gasv. brandstof	35	Bij gebruik van aardgas 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 gestookt in een installatie waarvoor voor 27/11/2002 vergunning is verleend of met een tv < 50MW.

<b>Emissiegrenswaarden voor NO<sub>x</sub></b>		<b>datum vergunning</b>	<b>NO<sub>x</sub>-eis (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Toelichting en/of eventueel te stellen eis</b>
<b>type installatie</b>	<b>brandstof</b>			
stookinstallatie in elektriciteits-bedrijf	gasvormige brandstoffen	Vergunning vóór 29/5/87	500 <sup>(1,2,4)</sup>	
stookinstallatie, niet in elektriciteits-bedrijf	Gasvormige brandstoffen	Vergunning vóór 29/5/87	150 <sup>(1,2,4,9)</sup>	Bij een procesfurnuis met een vuur- haardtemperatuur > 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 vuurhaardtempe- ratuur 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 toege- staan 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	Vergunning 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> .
		Vergunning op/na 1/8/88 tot 15/10/92	200 <sup>(2,3,5,6,7)</sup>	
		Vergunning op/na 15/10/92 tot 1/5/98	100/200 <sup>(3,5,7)</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> .
		Vergunning op/na 1/5/98	70	
<b>Emissiegrenswaarden voor stof</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	Cokesovengas, hoogovengas en oxygas of mengsels	Vergunning voor 29/5/87	20	De eis geldt ook voor mengsels met cokesovengas en/of oxygas en/of aardgas.
	Andere gassen		/	Geen stoffen
stookinstallaties	Cokesovengas	Vergunning op/na 29/5/87	20	De eis geldt ook voor mengsels met hoogovengas.
	Hoogovengas		10	Niet vermengd met hoogovengas of oxygas.
	oxygas		20	De eis geldt ook voor mengsels met hoogovengas.
	andere gasvormige brandstof		5	Bij gebruik van aardgas wordt automatisch aan deze eis voldaan (art. 43.7).

- 1 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.
- 2 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.
- 3 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.
- 4 Bij installaties met een thermisch vermogen < 2,5 MW (bovenwaarde), waarvoor vóór 1-5-98 vergunning is verleend, geldt deze eis niet.
- 5 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).
- 6 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.
- 7 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).
- 8 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).
- 9 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).
- 10 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 uitteedtemperatuur lager is dan 600°C en 200 mg/m<sup>3</sup> bij een uitteedtemperatuur ≥ 600°C (art. 28.5, 28.6 en 28.8).
- 11 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 uitteedtemperatuur lager is dan 600°C en 150 mg/m<sup>3</sup> bij een uitteedtemperatuur van ≥ 600°C (art. 28.8.b).

### Besluit emissie-eisen middelgrote stookinstallaties (BEMS)

Op 21 december 2009 werd het BEMS gepubliceerd in het Nederlandse staatsblad. Voor alle nieuwe stookinstallaties en motoren ( $< 50 \text{ MW}_{\text{th}}$ ) die niet onder BEES A vallen, gelden de in dit besluit opgenomen emissiegrenswaarden. Voor bestaande installaties gelden tot 1 januari 2017 nog de waarden van het BEES B. Vanaf die datum zullen ook de bestaande installaties moeten voldoen aan het BEMS.

Het BEMS is een actualisatie van het BEES B. De vorige actualisatie van het BEES B dateerde van maart 1998. Eerst en vooral betreft de actualisatie de aanscherping van de emissie-eisen teneinde deze te laten aansluiten bij de beste beschikbare technieken (BBT). Daarnaast wordt de werkingssfeer van het besluit verbreed met eisen aan emissies van totale koolwaterstoffen (met het oog op een reductie van methaanemissies) bij gasmotoren en emissie-eisen aan stookinstallaties waarin biobrandstoffen (biogas, bio-olie en biomassa) worden verstoekt.

Het BEMS stelt dus emissieconcentratie-eisen aan stookinstallaties die met gasvormige, vloeibare en vaste brandstoffen worden verstoekt. Zowel (stoom)ketels, zuigermotoren als gasturbines vallen onder dit besluit.

Het Besluit Emissie-eisen Middelgrote Stookinstallaties dateert van 7 december 2009.

De nieuwe regels (ter vervanging van BEES B) zijn van kracht sinds 1 april 2010. Op 14 oktober 2010 werd het ontwerp-wijzigingsbesluit voor de aanpassing van het Bees A, het Bva en het BEMS gepubliceerd.

De onderbouwing voor de actualisatie van het BEES B, met toelichting over de normen en daarmee gepaard gaande technieken, wordt beschreven in 'Onderbouwing actualisatie BEES B: kosten en effecten van de voorgenomen wijzigingen van het besluit emissie-eisen stookinstallaties B' van Kroon P. en Wetzels W. (ECN, april 2008).

#### Emissiegrenswaarden ( $\text{mg}/\text{Nm}^3$ ) voor nieuwe stookinstallaties volgens BEMS

Brandstof		$\text{NO}_x$	$\text{SO}_2$	Stof
Vaste brandstoffen (6% $\text{O}_2$ )		100	200	5
Vloeibare brandstoffen (3% $\text{O}_2$ )		120	200	5
Gasvormige brandstoffen (3% $\text{O}_2$ )		70	200	/
Biomassa	$< 5 \text{ MW}_{\text{th}}$	200	200	20
	$\geq 5 \text{ MW}_{\text{th}}$	145	200	5

#### Emissiegrenswaarden ( $\text{mg}/\text{Nm}^3$ ) voor nieuwe gasturbines en zuigermotoren volgens BEMS

Installatie	Brandstof	$\text{NO}_x$	$\text{SO}_2$	Stof	$\text{C}_x\text{H}_y$
Gasturbine	Gas/vloeibaar (15% $\text{O}_2$ )	140	200	15 (vloeibaar)	/
Zuigermotor	Gasvormig (3% $\text{O}_2$ )	100	200	/	1500
	Vloeibaar (3% $\text{O}_2$ )	450	200	50	/
	Biogas of $< 2,5 \text{ MW}$	340	200	/	/

#### Nederlandse Emissierichtlijn (NeR)

In de gevallen waar BEES/BEMS niet van toepassing is, blijft enkel de NeR over als wetgevend kader. Het doel van de NeR is het harmoniseren van de vergunningen met betrekking tot de emissies naar de lucht. Het is een richtlijn en heeft dus geen direct werkend karakter (in tegenstelling tot BEES en BEMS). De NeR

kent 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 de NeR.

**b. Duitsland**

(persoonlijke communicatie A. Behnke, 2009)

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

*BImSchG*

De Bundes Immissionschutz Gesetz legt de basis voor de bescherming van het milieu in Duitsland. Er worden algemene richtlijnen gegeven om mensen, dieren en planten, bodem, water en de atmosfeer te beschermen. De richtlijnen hebben betrekking op vier deelgebieden.

Het eerste deel van de richtlijnen heeft betrekking op de *bouw en uitbating van installaties*. Er worden eisen opgelegd voor zowel vergunningsplichtige als niet vergunningsplichtige bedrijven. Een tweede deel van de richtlijnen richt zich op *productgerelateerde kenmerken*. Deze richtlijnen stellen dat er specifieke eisen gesteld mogen worden aan installaties, stoffen, producten, brandstoffen en smeermiddelen zodat ze voldoen aan de vooropgestelde eisen en geen negatief effect hebben op het milieu. Het derde deel van de richtlijnen bevat eisen met betrekking tot *verkeersgerelateerde kenmerken*. Hierin worden voorwaarden gesteld aan de aard en het gebruik van vervoersmiddelen en wegwerkzaamheden zodat ze geen schadelijk effect hebben op het milieu. Het vierde deel van de kenmerken tenslotte zijn *gebiedsgerelateerde kenmerken*. Deze hebben betrekking op het controleren en verbeteren van de luchtkwaliteit, het opstellen van ‘clean air’ plannen. Deze plannen moeten worden opgemaakt wanneer er een overschrijding vastgesteld wordt van immissiegrenswaarden. De gebiedsgerelateerde kenmerken hebben ook nog betrekking op het opmaken van ‘geluidskaarten’ en ‘geluidsactieplannen’ door de bevoegde autoriteiten.

*BImSchV*

Het is duidelijk dat de BImSchG zeer algemeen blijft. Voor de praktische uitvoering ervan zijn daarom verschillende uitvoeringsvoorschriften opgemaakt, de zogeheten BImSchV (*Bundes Immissionschutz Verordnungen*). Wanneer in deze uitvoeringsvoorschriften geen emissie- of immissiegrenswaarden zijn vastgelegd gelden de grenswaarden uit de landelijk geldende voorschriften TA Luft.

Voor deze studie zijn enkele BImSchV van belang, namelijk:

- **1.BImSchV:** Kleinf Feuerungsanlagenverordnung (Kleine en middelgrote stookinstallaties)
- **3.BImSchV:** Verordnung über den Schwefelgehalt bestimmter flüssiger Kraft – oder Brennstoffe (Zwavelgehalte voor vloeibare brandstoffen)
- **4.BImSchV:** Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen (Vergunningsplichtige inrichtingen)
- **9.BImSchV:** Verordnung über das Genehmigungsverfahren (Verordening over de milieuvergunning)
- **13.BImSchV:** Verordnung über Großfeuerungs- und Gasturbineanlagen (Grote stookinstallaties en gasturbines)
- **17.BImSchV:** Verordnung über Verbrennungsanlagen für Abfälle und ähnliche brennbare Stoffe – Thermisch Verwertung (Verbranding van afval en gelijkaardige brandbare stoffen – thermische verwerking)
- **22.BImSchV:** Verordnung über Immissionswerte für Schadstoffe in der Luft (Immissiegrenswaarden voor schadelijke stoffen in de lucht)

### 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 TA Luft afgeweken. Er wordt gestreefd naar maximale toepassing van de 'Stand der Techniek', vernieuwing via aanpassingsclausules ("Dynamisierungsklausel") 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, zoals beschreven in 4.BImSchV, worden voor wat hun emissiegrenswaarden betreft, geregeld door de TA Luft.

1.BImSchV geldt voor kleine en middelgrote verbrandingsinstallaties die geen vergunning nodig hebben. Welke installaties al dan niet een vergunning nodig hebben wordt bepaald in 4.BImSchV. 13.BImSchV is in feite de vertaling van de LCP-richtlijn en geldt dus voor stookinstallaties en gasturbines  $\geq 50 \text{ MW}_{\text{th}}$ .

In onderstaande tabel wordt een algemeen overzicht gegeven van welke wetgeving van kracht is voor installaties met verschillende brandstoffen en vermogens.

<b>Brandstof</b>	<b>Vermogen (<math>\text{MW}_{\text{th}}</math>)</b>	<b>Wetgeving (algemene situatie)</b>
Kolen en hout	< 1	1.BImSchV
	$\geq 1 - 50$	TA Luft
	$\geq 50$	13.BImSchV
Zware stookolie	Alle installaties tot $50 \text{ MW}_{\text{th}}$	TA Luft
	$\geq 50$	13.BImSchV
Aardgas en lichte stookolie	< 20	1.BImSchV
	$\geq 20 - 50$	TA Luft
	$\geq 50$	13.BImSchV
Stationaire verbrandingsmotoren	< 1	Geen (verordening is gepland, maar nog geen draft beschikbaar)
	$\geq 1$	TA Luft
Gasturbines	$\geq 1 - 50$	TA Luft
	$\geq 50$	13.BImSchV

**1. BlmSchV (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen)**

Geldt voor installaties welke niet vergunningsplichtig zijn onder 4. BlmSchV.

Deze verordening werd goedgekeurd op 26/01/2010 en gepubliceerd op 1 februari. De nieuwe maatregelen zijn van kracht sinds 22/03/2010.

*Emissiegrenswaarden (mg/Nm<sup>3</sup>) voor verbrandingsinstallaties ≥4 kW op vaste brandstoffen volgens 1. BlmSchV*

<b>Fuel</b>	<b>Rated thermal output (kW)</b>	<b>Dust (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>CO (mg/m<sup>3</sup>)</b>
LEVEL 1: Installations which are installed after 22/03/2010	1. Hard coal, coal briquettes, cokes	90	1000
	2. Lignite coal, briquettes, lignite cokes		
	3. Peat	> 500	500
	3a Barbecue charcoal		
	4. Natural chunky wood	≥ 4 - ≤ 500	1000
	5. Natural non-chunky wood	> 500	500
	5a. Wood briquettes, pellets	≥ 4 - ≤ 500	800
		> 500	500
	6. Painted, varnished, coated wood	≥ 30 - ≤ 100	800
	7. Plywood, chipboard, fibreboard or otherwise glued	> 100 - ≤ 500	500
		> 500	300
	8. Straw and other plant material	≥ 4 - < 100	1000
	13. Other renewable resources		

Fuel	Rated thermal output (kW)	Dust (mg/m <sup>3</sup> )	CO (mg/m <sup>3</sup> )
LEVEL 2: Installations which are installed after 31 December 2014	≥ 4	20	400
1. Hard coal, coal briquettes, cokes			
2. Lignite coal, briquettes, lignite cokes			
3. Peat			
3a. Barbecue charcoal			
4. Natural chunky wood			
5. Natural non-chunky wood			
5a. Wood briquettes, pellets			
6. Painted, varnished, coated wood	≥ 30 - ≤ 500	20	400
7. Plywood, chipboard, fibreboard or otherwise glued	> 500	20	300
8. Straw and other plant material	≥ 4 - < 100	20	400
13. Other renewable resources			

Emissiegrenswaarden (**mg/kWh**) voor verbrandingsinstallaties op vloeibare en gasvormige brandstoffen ≤ 10 MW

Rated thermal output (kW)	Emissions of NO <sub>x</sub> in mg/kWh If EL heating oil is used (DIN 51603-1)	If gas from the public supply is used
≤ 120	110	60
> 120 - ≤ 400	120	80
> 400	185	120
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Installations with a rated thermal output of &gt; 400 kW: efficiency &gt;94%.</li> <li>- CO emissions may not exceed 1300 mg/kWh.</li> </ul>		

Emissiegrenswaarden (**mg/m<sup>3</sup>**) voor verbrandingsinstallaties op vloeibare en gasvormige brandstoffen > 10-<20 MW<sub>th</sub>

Operating temperature	NO <sub>x</sub> (mg/m <sup>3</sup> @ 3% O <sub>2</sub> )		CO (mg/m <sup>3</sup> )	
	Liquid fuels	Aardgas	Andere gassen	Gas
< 110 °C	180	100	200	80
≥ 110 - ≤ 210 °C	200	110		
> 210 °C	250	150		



Stookinstallaties < 50 MW <sub>th</sub>				
5.4.1.2.1. Facilities for generating electricity, steam, hot water, process heat or heated waste gas in furnaces using coal, coke, including petroleum coke, coal briquettes, peat briquettes, fuel peat or untreated wood; 5.4.1.3. other fuels than under 5.4.1.2 (7% O <sub>2</sub> )				
	Stof	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>
Fossiele vaste brandstof	< 5 MW <sub>th</sub>	150	WBO 300	WBO 350
	> 5 MW <sub>th</sub>	20	Overig < 10 MW <sub>th</sub>	Andere: 'hard coal' Overige vaste 1000
Hout	< 2,5 MW <sub>th</sub>	150	250	1000
	≤ 5 MW <sub>th</sub>	50		
	> 5 MW <sub>th</sub>	20		
5.4.1.2.2 Facilities for generating electricity, steam, hot water, process heat or heated waste gas in furnaces using heating oils, emulsified natural bitumen, methanol, ethanol, untreated vegetable oils or vegetable oil methyl esters (3% O <sub>2</sub> )				
	Stof	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>
Stookolie	/	80	< 110°C	850
		110°-210°C	200	
		> 210°C	250	
Ander vloeibare	50	80	350	850
5.4.1.2.3 Facilities for generating electricity, steam, hot water, process heat or heated waste gas in furnaces using gaseous fuels, particularly coke oven gas, mine gas, gas from steel mills, refinery gas, synthesis gas, mineral oil gas from the tertiary mining of mineral oil, sewer gas, biogas, untreated natural gas, liquid gas, gases from the public gas supply or hydrogen (3% O <sub>2</sub> )				
	Stof	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>
Gas	5/10*	50/80*	200	10/35*

\* Afhankelijk van het gebruikte gas.

Emissiegrenswaarden (mg/Nm<sup>3</sup>) voor interne verbrandingsmotoren volgens TA Luft

<b>Interne verbrandingsmotoren (internal combustion engines) &lt; 50 MW</b>		
5.4.1.4 Internal combustion engines (including internal combustion engines under 1.1 and 1.2 of 4.BImSchV)		
CO	Liquid & gaseous fuel	< 3MWth
		≥ 3MWth
NO <sub>x</sub>	Compression ignition, liquid fuel	< 3MWth
		≥ 3MWth
Stof	Gaseous fuel	250/500 (depending on motor type)
	Liquid fuels	20

Emissiegrenswaarden (mg/Nm<sup>3</sup>) voor gasturbines volgens TA Luft

<b>Gasturbines &lt; 50 MW (5.4.1.5 Gas turbines including gas turbines under 1.2 of 4.BImSchV)</b>		
(mg/m <sup>3</sup> )		
CO	Aardgas	Ander gas en vloeibare
		100
NO <sub>x</sub>	75000	150

### c. Frankrijk

In Frankrijk wordt de regelgeving voor stookinstallaties en motoren bepaald door verschillende wetteksten.

- Arrêté du 25 juillet 1997: van toepassing op *nieuwe en bestaande* verbrandingsinstallaties met een thermisch vermogen 2 – 20 MW;
- Arrêté du 30 juillet 2003: van toepassing op *bestaande* installaties met een thermisch vermogen > 20 MW;
- Arrêté du 20 juin 2002: van toepassing op *nieuwe* installaties met een thermisch vermogen > 20 MW;
- Arrêté du 11 août 1999: van toepassing op motoren en turbines  $\geq 20 \text{ MW}_{\text{th}}$ .

### d. Zwitserland

(persoonlijke communicatie G.Theis, 2009)

In Zwitserland worden algemene emissiegrenswaarden met betrekking tot luchtverontreiniging opgelegd in de Luchtreinhalte-Verordnung (LRV). Er worden algemene eisen gesteld, maar voor verbrandingsinstallaties en motoren gelden bijzondere voorwaarden. Naast de emissiegrenswaarden worden ook eisen gesteld aan de brandstoffen, bijvoorbeeld wat betreft het zwavelgehalte.

*Lufreinhalte-Verordnung*

De verordening dateert oorspronkelijk van 16/12/1985.

Emissiegrenswaarden ( $\text{mg}/\text{Nm}^3$ ) voor stookinstallaties  $\leq 50 \text{ MW}_{\text{th}}$  volgens LRV

Brandstof		$\text{NO}_x$		Stof		$\text{SO}_2$
Vloeibaar (3% $\text{O}_2$ )	Extra licht ( $< 0,1\% \text{ S}$ )	$\leq 350 \text{ kW}_{\text{th}}$	120			Begrensd door maximum zwavelgehalte van 0,1%
		$> 350 \text{ kW}_{\text{th}}$	$\leq 110^\circ\text{C}$ : 120 $> 110^\circ\text{C}$ : 150			
	Andere ( $< 2,8\% \text{ S}$ )	150 $> 1\% \text{ S}$		$\leq 1\% \text{ S}$	80	1700
Vast (7% $\text{O}_2$ )	1-10 $\text{MW}_{\text{th}}$	500		20		FBC: 350 Andere op steenkool: 1300 Andere: 1000
	10-50 $\text{MW}_{\text{th}}$	200		10		FBC: 350 Andere op steenkool: 1300 Andere: 1000
Gas (3% $\text{O}_2$ )	$\leq 350 \text{ kW}_{\text{th}}$	80-120				
	$> 350 \text{ kW}_{\text{th}}$	$\leq 110^\circ\text{C}$ : 80 $> 110^\circ\text{C}$ : 110				

Emissiegrenswaarden (mg/Nm<sup>3</sup>) voor motoren en gasturbines volgens LRV

Emissiegrenswaarden (mg/m <sup>3</sup> )	Motoren > 100 kW <sub>th</sub> (5% O <sub>2</sub> )		Gasturbine (15% O <sub>2</sub> )		
Stof	50		/		
NO <sub>x</sub>	>80% gas	400	< 40MW	>80% gas	150
				Andere brandstoffen	120
	Andere brandstoffen	250	≥ 40MW	>80% gas	50
				Andere brandstoffen	150
SO <sub>2</sub>	/		120		
CO	650		< 40MW	240	
	≥ 40MW		120		

### e. Oostenrijk

(persoonlijke communicatie T.Krutzler, 2009)

In Oostenrijk worden de emissiegrenswaarden voor stoom- en restwarmtekets geregeld door de Emissionsschutzgesetz für Kesselanlagen (EG-K, Federal Legal Gazette 2004/150) en de Luftreinhalteverordnung für Kesselanlagen (LRV-K, Bundesgesetzblatt 1989/19 aangevuld met Bundesgesetzblatt II 1997/324) voor kleine verbrandingsinstallaties. Bijkomend worden in de Feuerungsanlagen-Verordnung (FAV, 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.

Deze wetgevingen schrijven verschillende emissiegrenswaarden voor, afhankelijk van de gebruikte brandstof en de thermische input van de installatie. Daarnaast worden ook meetmethoden en de wijze van rapporteren van de gemeten emissies geregeld.

## Luftreinhalteverordning für Kesselanlagen

Emissiegrenswaarden (mg/Nm<sup>3</sup>) voor stoom- en restwarmtekets uit LRV-K (1989)

VASTE FOSSIELE BRANDSTOFFEN (6% O <sub>2</sub> )									
Stof	Vermogen (MW <sub>th</sub> )	(mg/m <sup>3</sup> )	SO <sub>2</sub>		NO <sub>x</sub>				
			Vermogen (MW <sub>th</sub> )	(mg/m <sup>3</sup> )	Vermogen (MW <sub>th</sub> )	(mg/m <sup>3</sup> )			
≤ 5MW	150		10 - ≤50 MW	400	≤ 3MW	400			
					3 - ≤ 10MW	400			
> 5MW	50		50- ≤300MW	200	10 - ≤ 50MW	500			
				400(bruin-kool)	50 - ≤ 150MW	400			
			>300MW	200	150- ≤300MW	300			
				400(bruin-kool)	> 300MW	200: RO			
						250: WBO			
VLOEIBARE FOSSIELE BRANDSTOFFEN (3% O <sub>2</sub> )									
Stof (mg/m <sup>3</sup> )	Vermogen (MW <sub>th</sub> )	SO <sub>2</sub>			NO <sub>x</sub> (mg/m <sup>3</sup> )				
		Vermogen (MW <sub>th</sub> )	(mg/m <sup>3</sup> )	Extra lichte stookolie	Vermogen (MW <sub>th</sub> )	(mg/m <sup>3</sup> )	Extra lichte stookolie	Andere stookolie	
≤ 10MW	110	10- ≤50MW	1700	30	≤ 10MW	400			
					10- ≤50MW	250	450		
10- ≤50MW	80		350		10- ≤50MW	300			
>50MW	50		200		150- ≤300MW	200			
					>300MW		> 300MW	150	

GASVORMIGE FOSSIELE BRANDSTOFFEN (3% O <sub>2</sub> )		
Stof (mg/m <sup>3</sup> )	SO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	NO <sub>x</sub> Vermogen (MW <sub>th</sub> ) (mg/m <sup>3</sup> )
10	/	≤ 10MW 400 10 - ≤50MW 200 50 - ≤150MW 150 150 - ≤300MW 100 > 300MW 100

**Emissionsschutzgesetz für Kesselanlagen**  
 Emissionsgrenswaarden (mg/Nm<sup>3</sup>) voor ketels uit EG-K (2004)

VASTE FOSSIELE BRANDSTOFFEN (6% O <sub>2</sub> )							
Stof	Vermogen (MW <sub>th</sub> )	(mg/m <sup>3</sup> )	SO <sub>2</sub> <sup>a</sup> (mg/m <sup>3</sup> )		NO <sub>x</sub> (mg/m <sup>3</sup> )		CO (mg/m <sup>3</sup> )
			Vermogen (MW <sub>th</sub> )	(mg/m <sup>3</sup> )	Vermogen (MW <sub>th</sub> )	(mg/m <sup>3</sup> )	
< 5	150	50	10 - ≤ 50	1000	≤ 150	600	250
				2000(bruin-kool)	150 - ≤ 300	450	
> 5	50	50	50 - ≤ 150	1000	300 - ≤ 500	300	
			150 - ≤ 300	200	> 500	200	
				600(bruin-kool)			
			> 300	200			
				400(bruin-kool)			

<b>VLOEIBARE FOSSIELE BRANDSTOFFEN (3% O<sub>2</sub>)</b>						
<b>Stof (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>SO<sub>2</sub><sup>b</sup> (mg/m<sup>3</sup>)</b>			<b>NO<sub>x</sub> (mg/m<sup>3</sup>)</b>		<b>CO (mg/m<sup>3</sup>)</b>
	<b>Vermogen (MW<sub>th</sub>)</b>	<b>Extra lichte stook-olie</b>	<b>Lichte stook-olie</b>	<b>Vermogen (MW<sub>th</sub>)</b>	<b>Vermogen (MW<sub>th</sub>)</b>	
≤ 10	110	80	50	10 - ≤ 50	≤ 150	175
10 - ≤ 50	80	60		50 - ≤ 150	150 - ≤ 300	300
				150 - ≤ 300	300 - ≤ 500	200
> 50	50	50	> 300	> 300	150	
<b>GASVORMIGE FOSSIELE BRANDSTOFFEN (3% O<sub>2</sub>)</b>						
<b>Stof (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>SO<sub>2</sub> (mg/m<sup>3</sup>)</b>			<b>NO<sub>x</sub> (mg/m<sup>3</sup>)</b>		<b>CO (mg/m<sup>3</sup>)</b>
10	/			≤ 150	300	
				150- ≤300	200	
				300- ≤500	150	
				> 500	150	

<sup>a</sup> Voor ketels met een vermogen ≤ 10 MW<sub>th</sub>: gebruik van kolen/briketten met meer dan 1% S verboden;

<sup>b</sup> Voor ketels met een vermogen ≤ 3 MW<sub>th</sub>: max. 0,3% S  
 Voor ketels met een vermogen van 3 - ≤ 10 MW<sub>th</sub>: max. 0,6% S

### Feuerungsanlagen-Verordnung

Emissiegrenswaarden (mg/Nm<sup>3</sup>) voor stookinstallaties volgens FAV (1997)

<b>VASTE BRANDSTOFFEN</b>			
<b>Kolen en cokes (6% O<sub>2</sub>)</b>	<b>Vermogen (MW<sub>th</sub>)</b>		<b>Stof (mg/m<sup>3</sup>)</b>
	<b>CO (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>NO<sub>x</sub> (mg/m<sup>3</sup>)</b>	
	≤ 0,350	150	/
	> 0,350 - ≤ 1	150	/
	> 1 - ≤ 2	150	/
			CO (mg/m <sup>3</sup> )
			1000
			NO <sub>x</sub> (mg/m <sup>3</sup> )
			400
			150
			400

	> 2 – ≤ 10	50	/	150	400
	> 10 – ≤ 50	50	400	150	350
	> 50	50	200/400(bruinkool)	150	100/200(bruinkool)
<b>Hout (6% O<sub>2</sub>)</b>	<b>Vermogen (MW<sub>th</sub>)</b>	<b>Stof (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>SO<sub>2</sub> (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>CO (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>NO<sub>x</sub> (mg/m<sup>3</sup>)</b>
	≤ 0,100	150	/	800	250/300/500 <sup>a</sup>
	> 0,100 - ≤ 0,350	150	/	800	250/300/500 <sup>a</sup>
	> 0,350 – ≤ 2	150	/	250	250/300/500 <sup>a</sup>
	> 2 – ≤ 5	50	/	250	250/300/500 <sup>a</sup>
	> 5 – ≤ 10	50	/	100	250/300/350 <sup>a</sup>
	> 10	50	/	100	200/350 <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Afhankelijk van de houtsoort en eigenschappen



<b>VLOEIBARE BRANDSTOFFEN (3% O<sub>2</sub>)</b> Voorwaarden voor gebruik bepaalde types stookolie in functie van vermogen installatie: Vermogen ≤ 0,07MW à extra lichte stookolie (EL) Vermogen > 0,07 - 5MW à extra lichte en lichte stookolie (EL & L) Vermogen > 5 - 10MW à extra lichte, lichte en halfzware stookolie (EL, L & M) Vermogen > 10MW à alle soorten stookolie (EL, L, M, S)															
Stookolie-type	Stof (mg/m <sup>3</sup> )			SO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )			CO (mg/m <sup>3</sup> )			NO <sub>x</sub> (mg/m <sup>3</sup> )					
	Vermogen (MW <sub>th</sub> )	>2-30	>30-50	>50	Vermogen (MW <sub>th</sub> )	>50-300	>300	Vermogen (MW <sub>th</sub> )	≤ 1	> 1	Vermogen (MW <sub>th</sub> )	≤ 3	>3-10	>10-50	>50
Extra licht		30	30	30		350	200		100	80		150	150	150	100
Licht		50	35	35								450	400	350	100
Halfzwaar		60	50	35								450	450	350	100
Zwaar		60	50	35								450	450	350	100
<b>GASVORMIGE BRANDSTOFFEN (3% O<sub>2</sub>)</b>															
Aardgas		NO <sub>x</sub> (mg/m <sup>3</sup> )			NO <sub>x</sub> (mg/m <sup>3</sup> )			NO <sub>x</sub> (mg/m <sup>3</sup> )			NO <sub>x</sub> (mg/m <sup>3</sup> )				
		≤ 3	> 3						80			120			
Vloeibaar gas		NO <sub>x</sub> (mg/m <sup>3</sup> )			NO <sub>x</sub> (mg/m <sup>3</sup> )			NO <sub>x</sub> (mg/m <sup>3</sup> )			NO <sub>x</sub> (mg/m <sup>3</sup> )				
		≤ 3	> 3						80			160			
												130			

**f. Zweden**

In Zweden zijn er naast de LCP-richtlijn voor installaties > 50 MW geen algemene bindende emissiegrenswaarden. De emissiegrenswaarden worden meestal geval per geval bekeken voor installaties > 0,5 MW, gebaseerd op de beste beschikbare technieken. Er bestaan wel algemene trends in de emissiegrenswaarden die worden opgelegd aan de verschillende bedrijven.

In Zweden wordt biomassa het frequentst gebruikt als brandstof. Aardgas wordt slechts beperkt toegepast terwijl stookolie voornamelijk dient voor piektoepassingen of als reservebrandstof.

De *zwavelemissies* blijven als gevolg van de brandstofkeuze meestal beperkt. Het zwavelgehalte in biomassa is meestal vrij laag zodat er geen problemen ontstaan. De emissies blijven bij biomassa meestal < 100 mg/Nm<sup>3</sup> bij 6% O<sub>2</sub>. Hogere emissies worden meestal ook gereduceerd doordat de verbinding aan de stofdeeltjes hangen welke verwijderd worden in een elektrofilter of doekenfilter. Wanneer stookolie wordt gebruikt in installaties < 50 MW, is het meestal lichte stookolie. De emissies dienen hoe dan ook onder de 100 mg/MJ te blijven.

Voor NO<sub>x</sub> is het plaatje in Zweden vrij opmerkelijk. De emissies zijn eerder laag wat te wijten is aan de taks die wordt geheven op NO<sub>x</sub> emissies. Deze taks, ongeveer 5 EUR/kg NO<sub>x</sub>, is verplicht voor alle stookinstallaties die op jaarbasis meer dan 25 GWh energie produceren. De terugbetaling gebeurt op basis van de geproduceerde nuttige energie en bedraagt ongeveer 0,9 EUR/MWh. Op deze manier worden bedrijven gestimuleerd hun emissies te beperken: grote emitters worden zo immers netto betalende, terwijl beperkte emissies zorgen voor een netto verdienste.

Hoewel deze taks een belangrijke stimulans vormt naar NO<sub>x</sub> toe, heeft dit ook zijn nadelen, vooral op vlak van CO-emissies. Deze liggen doorgaans een stuk hoger omdat men zo ver gaat om NO<sub>x</sub>-emissies terug te dringen. Daarom worden er nu steeds meer specifieke voorwaarden opgelegd m.b.t. CO, bijvoorbeeld dat 95% van de dagelijks gemiddelde waarden lager moeten zijn dan 500 mg/Nm<sup>3</sup> bij 6% O<sub>2</sub>. Uiteraard kan, afhankelijk van de situatie, ook deze voorwaarde van geval tot geval strenger of soepeler gesteld worden.

**g. Finland**

In Finland heeft men de 'Emission guideline of the Finish EPA' (oktober 2003) welke advies geeft m.b.t. ELVs voor kleine stookinstallaties, motoren en gasturbines. Dit document is gebaseerd op het principe van Beste Beschikbare Technieken.

Het document is dus een richtlijn, geen wettekst en geeft enkel aanbevelingen: net als in Zweden worden de vergunningsvoorwaarden case per case bepaald. Het is uiteraard wel de bedoeling dat de autoriteiten gebruik maken van de richtlijnen bij het vastleggen van de voorwaarden.

Volgende tabellen geven een overzicht van de emissiewaarden geassocieerd met de BBT in Finland.

## Finse emissiewaarden volgens BBT voor stationaire motoren

Engine type	NO <sub>x</sub> primary* (15% O <sub>2</sub> )		NO <sub>x</sub> secondary** (15% O <sub>2</sub> )		SO <sub>2</sub> (15% O <sub>2</sub> )		Particulates (15% O <sub>2</sub> )	
	mg/MJ	mg/Nm <sup>3</sup>	mg/MJ	mg/Nm <sup>3</sup>	mg/MJ	mg/Nm <sup>3</sup>	mg/MJ	mg/Nm <sup>3</sup>
Oil diesel	<1600	<1400	<750	<650	<600	<500	<60	<50
Gas diesel	<1600	<1400	<750	<650				
Spark ignition	<175	<150						
Dual fuel	<175	<150						

\* Primary methods = maatregelen aan de motoren zelf (bij normale toepassingen)

\*\* Secondary methods = maatregelen buiten de motor (bij toepassing in gevoelige regio's bijvoorbeeld)

## Finse emissiewaarden volgens BBT voor kleine stookinstallaties

Combustion plants	NO <sub>x</sub>		SO <sub>2</sub>		Particulates	
	mg/MJ	mg/Nm <sup>3</sup>	mg/MJ	mg/Nm <sup>3</sup>	mg/MJ	mg/Nm <sup>3</sup>
Oil	3% O <sub>2</sub>					
1-15 MW	<240	<800				
15-50 MW	150-180	500-600				
1-50 MW			<500	<1700	15-40*	50-140*
Natural gas	3% O <sub>2</sub>					
1-15 MW	<100	<340				
15-50 MW	50-75	170-250				
Coal	6% O <sub>2</sub>					
1-50 MW	100-150	275-415	<400	<1100	20-40	55-110

\* emissiewaarden voor lichte stookolie is altijd 15 mg/MJ of 50 mg/Nm<sup>3</sup>, ongeacht het vermogen.

## Finse emissiewaarden volgens BBT voor gasturbines

Gas turbine	NO <sub>x</sub> primary (15% O <sub>2</sub> )		NO <sub>x</sub> secondary (15% O <sub>2</sub> )		SO <sub>2</sub> (15% O <sub>2</sub> )		Particulates (15% O <sub>2</sub> )	
	mg/MJ	mg/Nm <sup>3</sup>	mg/MJ	mg/Nm <sup>3</sup>	mg/MJ	mg/Nm <sup>3</sup>	mg/MJ	mg/Nm <sup>3</sup>
	<100	<115						



## BIJLAGE 3: BEREKENINGEN KOSTENEFFECTIVITEIT

In deze bijlage worden de tabellen met de berekende kosteneffectiviteiten gegeven. Deze zijn telkens berekend met een afschrijvingstermijn van 10 jaar en een rente van 4%.

De tabellen zijn gegroepeerd per brandstof en geven, waar relevant, de berekeningen voor NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> en stof.

Omwille van plaatsbeperkingen werd deze bijlage niet integraal opgenomen in deze druk. De integrale bijlage kan worden geraadpleegd op [www.emis.vito.be](http://www.emis.vito.be).

- Tabel B3.1a: Kosteneffectiviteit van maatregelen voor NO<sub>x</sub>-reductie bij steenkoolinstallaties – LAAGSTE PRIJZEN
- Tabel B3.1b: Kosteneffectiviteit van maatregelen voor NO<sub>x</sub>-reductie bij steenkoolinstallaties – HOOGSTE PRIJZEN
- Tabel B3.2a: Kosteneffectiviteit van maatregelen voor SO<sub>2</sub>-reductie bij steenkoolinstallaties - LAAGSTE PRIJZEN
- Tabel B3.2b: Kosteneffectiviteit van maatregelen voor SO<sub>2</sub>-reductie bij steenkoolinstallaties - HOOGSTE PRIJZEN
- Tabel B3.3a: Kosteneffectiviteit van maatregelen voor stofreductie bij steenkoolinstallaties - LAAGSTE PRIJZEN
- Tabel B3.3b: Kosteneffectiviteit van maatregelen voor stofreductie bij steenkoolinstallaties - HOOGSTE PRIJZEN
- Tabel B3.4a: Kosteneffectiviteit van maatregelen voor NO<sub>x</sub>-reductie bij installaties op residuele brandstoffen - LAAGSTE PRIJZEN
- Tabel B3.4b: Kosteneffectiviteit van maatregelen voor NO<sub>x</sub>-reductie bij installaties op residuele brandstoffen - HOOGSTE PRIJZEN
- Tabel B3.5a: Kosteneffectiviteit van maatregelen voor SO<sub>2</sub>-reductie bij installaties op residuele brandstoffen - LAAGSTE PRIJZEN
- Tabel B3.5b: Kosteneffectiviteit van maatregelen voor SO<sub>2</sub>-reductie bij installaties op residuele brandstoffen - HOOGSTE PRIJZEN
- Tabel B3.5c: Kosteneffectiviteit van fuel switch van residuele brandstoffen naar gasolie verwarming
- Tabel B3.6a: Kosteneffectiviteit van maatregelen voor stofreductie bij installaties op residuele brandstoffen - LAAGSTE PRIJZEN
- Tabel B3.6b: Kosteneffectiviteit van maatregelen voor stofreductie bij installaties op residuele brandstoffen - HOOGSTE PRIJZEN
- Tabel B3.7a: Kosteneffectiviteit van maatregelen voor NO<sub>x</sub>-reductie bij installaties op gasolie verwarming - LAAGSTE PRIJZEN
- Tabel B3.7b: Kosteneffectiviteit van maatregelen voor NO<sub>x</sub>-reductie bij installaties op gasolie verwarming - HOOGSTE PRIJZEN

- Tabel B3.8a: Kosteneffectiviteit van maatregelen voor SO<sub>2</sub>-reductie bij installaties op gasolie verwarming - LAAGSTE PRIJZEN
- Tabel B3.8b: Kosteneffectiviteit van maatregelen voor SO<sub>2</sub>-reductie bij installaties op gasolie verwarming - HOOGSTE PRIJZEN
- Tabel B3.8c: Kosteneffectiviteit van fuel switch naar gasolie verwarming extra bij installaties op gasolie verwarming (0,1% S)
- Tabel B3.9a: Kosteneffectiviteit van maatregelen voor NO<sub>x</sub>-reductie bij installaties op aardgas - LAAGSTE PRIJZEN
- Tabel B3.9b: Kosteneffectiviteit van maatregelen voor NO<sub>x</sub>-reductie bij installaties op aardgas - HOOGSTE PRIJZEN
- Tabel B3.10: Kosteneffectiviteit van maatregelen voor NO<sub>x</sub>-reductie bij stationaire motoren op residuele brandstof
- Tabel B3.11: Kosteneffectiviteit van maatregelen voor SO<sub>2</sub>-reductie bij stationaire motoren op residuele brandstof
- Tabel B3.12: Kosteneffectiviteit van maatregelen voor NO<sub>x</sub>-reductie bij stationaire motoren op gasolie verwarming
- Tabel B3.13: Kosteneffectiviteit van maatregelen voor SO<sub>2</sub>-reductie bij stationaire motoren op gasolie verwarming
- Tabel B3.14: Kosteneffectiviteit van maatregelen voor NO<sub>x</sub>-reductie bij stationaire motoren op gasolie verwarming extra (~diesel)
- Tabel B3.15: Kosteneffectiviteit van maatregelen voor SO<sub>2</sub>-reductie bij stationaire motoren op gasolie verwarming (extra)
- Tabel B3.16: Kosteneffectiviteit van fuel switch voor SO<sub>2</sub>-reductie bij stationaire motoren op residuele brandstof
- Tabel B3.17: Kosteneffectiviteit van maatregelen voor NO<sub>x</sub>-reductie bij stationaire gasmotoren
- Tabel B3.18: Kosteneffectiviteit van een roetfilter voor stofreductie bij stationaire motoren op residuele brandstof en gasolie verwarming extra/diesel

## BIJLAGE 4: GEVOELIGHEIDSANALYSE PROCENTUELE KOSTENSTIJGING

In deze gevoeligheidsanalyse wordt gekeken naar de invloed van brandstofprijzen op de procentuele kostenstijging door de inzet van end-of-pipetechnieken. Er worden twee scenario's doorgerekend:

- Scenario 1: Brandstofprijzen die 20% hoger liggen dan in het basisscenario;
- Scenario 2: Brandstofprijzen die 20% lager liggen dan in het basisscenario.

### Scenario 1: 20% hogere prijzen

Tabel 1: NO<sub>x</sub>-reducerende maatregelen

1 MW, 6000 draaiuren						
	brandstof	TJK stookinstallatie	TJK EOP best case	% kostenstijging	TJK EOP worst case	% kostenstijging
SNCR	aardgas	382246	2811	0,7%	3806	1,0%
	residuele	297488	2578	0,9%	3859	1,3%
	gasolie	432013	2816	0,7%	3773	0,9%
	steenkool	177478	2975	1,7%	4247	2,4%
SCR	aardgas	382246	3487	0,9%	13543	3,5%
	residuele	297488	3565	1,2%	12987	4,4%
	gasolie	432013	3471	0,8%	12940	3,0%
	steenkool	177478	3861	2,2%	16917	9,5%
5 MW, 6000 draaiuren						
	brandstof	TJK stookinstallatie	TJK EOP best case	% kostenstijging	TJK EOP worst case	% kostenstijging
SNCR	aardgas	1678619	4065	0,2%	9044	0,5%
	residuele	1254827	4457	0,4%	9385	0,7%
	gasolie	1927451	4148	0,2%	8958	0,5%
	steenkool	654779	4949	0,8%	11334	1,7%
SCR	aardgas	1678619	7434	0,4%	67713	4,0%
	residuele	1254827	7824	0,6%	64937	5,2%
	gasolie	1927451	7414	0,4%	64702	3,4%
	steenkool	654779	9354	1,4%	84585	12,9%
20 MW, 6000 draaiuren						
	brandstof	TJK stookinstallatie	TJK EOP best case	% kostenstijging	TJK EOP worst case	% kostenstijging
SNCR	aardgas	6005728	8897	0,1%	28863	0,5%
	residuele	4310560	10598	0,2%	30399	0,7%
	gasolie	7001056	9211	0,1%	28488	0,4%
	steenkool	1910368	12597	0,7%	38239	2,0%

SCR	aardgas	6005728	22381	0,4%	270853	4,5%
	residuele	4310560	23973	0,6%	259747	6,0%
	gasolie	7001056	22230	0,3%	258807	3,7%
	steenkool	1910368	30112	1,6%	338341	17,7%
<b>50 MW, 6000 draaiuren</b>						
	<b>brandstof</b>	<b>TJK stookinstallatie</b>	<b>TJK EOP best case</b>	<b>% kostenstijging</b>	<b>TJK EOP worst case</b>	<b>% kostenstijging</b>
SNCR	aardgas	14534451	18627	0,1%	68586	0,5%
	residuele	10296531	23418	0,2%	73146	0,7%
	gasolie	17022771	19572	0,1%	67862	0,4%
	steenkool	4296051	28494	0,7%	92851	2,2%
SCR	aardgas	14534451	52290	0,4%	677132	4,7%
	residuele	10296531	56619	0,5%	649367	6,3%
	gasolie	17022771	52017	0,3%	647017	3,8%
	steenkool	4296051	72018	1,7%	845852	19,7%

Tabel 2: SO<sub>2</sub>-reducerende maatregelen

<b>1 MW, 6000 draaiuren</b>						
	<b>Brandstof</b>	<b>TJK stookinstallatie</b>	<b>TJK EOP best case</b>	<b>% kostenstijging</b>	<b>TJK EOP worst case</b>	<b>% kostenstijging</b>
droog-sorbent injectie	residuele	297488	1120	0,4%	2807	0,9%
	gasolie	432013	1382	0,3%	1520	0,4%
	Steenkool	177478	1459	0,8%	3166	1,8%
<b>5 MW, 6000 draaiuren</b>						
	<b>Brandstof</b>	<b>TJK stookinstallatie</b>	<b>TJK EOP best case</b>	<b>% kostenstijging</b>	<b>TJK EOP worst case</b>	<b>% kostenstijging</b>
droog-sorbent injectie	residuele	1254827	5599	0,4%	14544	1,2%
	gasolie	1927451	6909	0,4%	7652	0,4%
	Steenkool	654779	7294	1,1%	16315	2,5%
<b>20 MW, 6000 draaiuren</b>						
	<b>Brandstof</b>	<b>TJK stookinstallatie</b>	<b>TJK EOP best case</b>	<b>% kostenstijging</b>	<b>TJK EOP worst case</b>	<b>% kostenstijging</b>
droog-sorbent injectie	residuele	4310560	22398	0,5%	60212	1,4%
	gasolie	7001056	27635	0,4%	30810	0,4%
	Steenkool	1910368	29175	1,5%	67209	3,5%
halfnatte kalkwassing	residuele	4310560	30797	0,7%	264588	6,1%
	gasolie	7001056	37998	0,5%	264523	3,8%
	Steenkool	1910368	40116	2,1%	270036	14,1%



natte water	residuele	4310560	44796	1,0%	109939	2,6%
	gasolie	7001056	55270	0,8%	109923	1,6%
	Steenkool	1910368	58350	3,1%	111210	5,8%
<b>50 MW, 6000 draaiuren</b>						
	<b>Brandstof</b>	<b>TJK stookinstallatie</b>	<b>TJK EOP best case</b>	<b>% kostenstijging</b>	<b>TJK EOP worst case</b>	<b>% kostenstijging</b>
droog-sorbent injectie	residuele	10296531	55995	0,5%	155614	1,5%
	gasolie	17022771	69088	0,4%	77531	0,5%
	Steenkool	4296051	72937	1,7%	172893	4,0%
halfnatte kalkwassing	residuele	10296531	76992	0,7%	656461	6,4%
	gasolie	17022771	94996	0,6%	656389	3,9%
	Steenkool	4296051	100289	2,3%	662515	15,4%
natte water	residuele	10296531	111989	1,1%	221055	2,1%
	gasolie	17022771	138176	0,8%	221017	1,3%
	Steenkool	4296051	145875	3,4%	224233	5,2%

Tabel 3: Stofreducerende maatregelen

<b>1 MW, 6000 draaiuren</b>						
	<b>Brandstof</b>	<b>TJK stookinstallatie</b>	<b>TJK EOP best case</b>	<b>% kostenstijging</b>	<b>TJK EOP worst case</b>	<b>% kostenstijging</b>
Multicycloon	residuele	297488	2637	0,9%	2637	0,9%
	Steenkool	177478	2679	1,5%	2679	1,5%
Stofwasser	Steenkool	177478	6466	3,6%	6466	3,6%
Doekenfilter	residuele	297488	2504	0,8%	6450	2,2%
	Steenkool	177478	3261	1,8%	8402	4,7%
ESP droog	residuele	297488	6729	2,3%	19994	6,7%
	Steenkool	177478	7183	4,0%	20448	11,5%
ESP nat	residuele	297488	17186	5,8%	19994	6,7%
	Steenkool	177478	17640	9,9%	20448	11,5%
<b>5 MW, 6000 draaiuren</b>						
	<b>Brandstof</b>	<b>TJK stookinstallatie</b>	<b>TJK EOP best case</b>	<b>% kostenstijging</b>	<b>TJK EOP worst case</b>	<b>% kostenstijging</b>
Multicycloon	residuele	1254827	3200	0,3%	3200	0,3%
	Steenkool	654779	3412	0,5%	3412	0,5%
Stofwasser	Steenkool	654779	21051	3,2%	21051	3,2%
Doekenfilter	residuele	1254827	12518	1,0%	29168	2,3%
	Steenkool	654779	16306	2,5%	37993	5,8%

ESP droog	residuele	1254827	32597	2,6%	52876	4,2%
	Steenkool	654779	34867	5,3%	55146	8,4%
ESP nat	residuele	1254827	82787	6,6%	52876	4,2%
	Steenkool	654779	55146	8,4%	85057	13,0%
<b>20 MW, 6000 draaiuren</b>						
	<b>Brandstof</b>	<b>TJK stookin-</b>	<b>TJK EOP</b>	<b>% kosten-</b>	<b>TJK EOP</b>	<b>% kosten-</b>
		<b>stallatie</b>	<b>best case</b>	<b>stijging</b>	<b>worst case</b>	<b>stijging</b>
Multicycloon	residuele	4310560	5310	0,1%	5310	0,1%
	Steenkool	1910368	6162	0,3%	6162	0,3%
Stofwasser	Steenkool	1910368	70761	3,7%	70761	3,7%
Doekenfilter	residuele	4310560	50072	1,2%	67338	1,6%
	Steenkool	1910368	41125	2,2%	87713	4,6%
ESP droog	residuele	4310560	99706	2,3%	126916	2,9%
	Steenkool	1910368	108786	5,7%	135996	7,1%
ESP nat	residuele	4310560	99706	2,3%	320729	7,4%
	Steenkool	1910368	108786	5,7%	329809	17,3%
<b>50 MW, 6000 draaiuren</b>						
	<b>Brandstof</b>	<b>TJK stookin-</b>	<b>TJK EOP</b>	<b>% kosten-</b>	<b>TJK EOP</b>	<b>% kosten-</b>
		<b>stallatie</b>	<b>best case</b>	<b>stijging</b>	<b>worst case</b>	<b>stijging</b>
Multicycloon	residuele	10296531	9532	0,1%	9532	0,1%
	Steenkool	4296051	11661	0,3%	11661	0,3%
Stofwasser	Steenkool	4296051	167176	3,9%	167176	3,9%
Doekenfilter	residuele	10296531	125180	1,2%	100513	1,0%
	Steenkool	4296051	102813	2,4%	130927	3,0%
ESP droog	residuele	10296531	161328	1,6%	308188	3,0%
	Steenkool	4296051	184029	4,3%	330889	7,7%
ESP nat	residuele	10296531	161328	1,6%	774516	7,5%
	Steenkool	4296051	184029	4,3%	797217	18,6%

## Scenario 2: 20% lagere brandstofprijzen

Tabel 4: NO<sub>x</sub>-reducerende maatregelen

	<b>brandstof</b>	<b>TJK stookin-</b>	<b>TJK EOP</b>	<b>% kosten-</b>	<b>TJK EOP</b>	<b>% kosten-</b>
		<b>stallatie</b>	<b>best case</b>	<b>stijging</b>	<b>worst case</b>	<b>stijging</b>
SNCR	aardgas	291526	2811	1,0%	3806	1,3%
	residuele	235021	2578	1,1%	3859	1,6%
	gasolie	324704	2816	0,9%	3773	1,2%
	steenkool	155014	2975	1,9%	4247	2,7%

SCR	aardgas	291526	3487	1,2%	13543	4,6%
	residuele	235021	3565	1,5%	12987	5,5%
	gasolie	324704	3471	1,1%	12940	4,0%
	steenkool	155014	3861	2,5%	16917	10,9%
<b>5 MW, 6000 draaiuren</b>						
	<b>brandstof</b>	<b>TJK stookin- stallatie</b>	<b>TJK EOP best case</b>	<b>% kosten- stijging</b>	<b>TJK EOP worst case</b>	<b>% kosten- stijging</b>
SNCR	aardgas	1225019	4065	0,3%	9044	0,7%
	residuele	942491	4457	0,5%	9385	1,0%
	gasolie	1390907	4148	0,3%	8958	0,6%
	steenkool	542459	4949	0,9%	11334	2,1%
SCR	aardgas	1225019	7434	0,6%	67713	5,5%
	residuele	942491	7824	0,8%	64937	6,9%
	gasolie	1390907	7414	0,5%	64702	4,7%
	steenkool	542459	9354	1,7%	84585	15,6%
<b>20 MW, 6000 draaiuren</b>						
	<b>brandstof</b>	<b>TJK stookin- stallatie</b>	<b>TJK EOP best case</b>	<b>% kosten- stijging</b>	<b>TJK EOP worst case</b>	<b>% kosten- stijging</b>
SNCR	aardgas	4191328	8897	0,2%	28863	0,7%
	residuele	3061216	10598	0,3%	30399	1,0%
	gasolie	4854880	9211	0,2%	28488	0,6%
	steenkool	1461088	12597	0,9%	38239	2,6%
SCR	aardgas	4191328	22381	0,5%	270853	6,5%
	residuele	3061216	23973	0,8%	259747	8,5%
	gasolie	4854880	22230	0,5%	258807	5,3%
	steenkool	1461088	30112	2,1%	338341	23,2%
<b>50 MW, 6000 draaiuren</b>						
	<b>brandstof</b>	<b>TJK stookin- stallatie</b>	<b>TJK EOP best case</b>	<b>% kosten- stijging</b>	<b>TJK EOP worst case</b>	<b>% kosten- stijging</b>
SNCR	aardgas	9998451	18627	0,2%	68586	0,7%
	residuele	7173171	23418	0,3%	73146	1,0%
	gasolie	11657331	19572	0,2%	67862	0,6%
	steenkool	3172851	28494	0,9%	92851	2,9%
SCR	aardgas	9998451	52290	0,5%	677132	6,8%
	residuele	7173171	56619	0,8%	649367	9,1%
	gasolie	11657331	52017	0,4%	647017	5,6%
	steenkool	3172851	72018	2,3%	845852	26,7%

Tabel 5: SO<sub>2</sub>-reducerende maatregelen

<b>1 MW, 6000 draaiuren</b>						
	<b>Brandstof</b>	<b>TJK stookinstallatie</b>	<b>TJK EOP best case</b>	<b>% kostenstijging</b>	<b>TJK EOP worst case</b>	<b>% kostenstijging</b>
droog-sorbent injectie	Residuele	235021	1120	0,5%	2807	1,2%
	Gasolie	324704	1382	0,4%	1520	0,5%
	Steenkool	155014	1459	0,9%	3166	2,0%
<b>5 MW, 6000 draaiuren</b>						
	<b>Brandstof</b>	<b>TJK stookinstallatie</b>	<b>TJK EOP best case</b>	<b>% kostenstijging</b>	<b>TJK EOP worst case</b>	<b>% kostenstijging</b>
droog-sorbent injectie	Residuele	942491	5599	0,6%	14544	1,5%
	Gasolie	1390907	6909	0,5%	7652	0,6%
	Steenkool	542459	7294	1,3%	16315	3,0%
<b>20 MW, 6000 draaiuren</b>						
	<b>Brandstof</b>	<b>TJK stookinstallatie</b>	<b>TJK EOP best case</b>	<b>% kostenstijging</b>	<b>TJK EOP worst case</b>	<b>% kostenstijging</b>
droog-sorbent injectie	Residuele	3061216	22398	0,7%	60212	2,0%
	Gasolie	4854880	27635	0,6%	30810	0,6%
	Steenkool	1461088	29175	2,0%	67209	4,6%
halfnatte kalkwassing	Residuele	3061216	30797	1,0%	264588	8,6%
	Gasolie	4854880	37998	0,8%	264523	5,4%
	Steenkool	1461088	40116	2,7%	270036	18,5%
natte water	Residuele	3061216	44796	1,5%	109939	3,6%
	Gasolie	4854880	55270	1,1%	109923	2,3%
	Steenkool	1461088	58350	4,0%	111210	7,6%
<b>50 MW, 6000 draaiuren</b>						
	<b>Brandstof</b>	<b>TJK stookinstallatie</b>	<b>TJK EOP best case</b>	<b>% kostenstijging</b>	<b>TJK EOP worst case</b>	<b>% kostenstijging</b>
droog-sorbent injectie	Residuele	7173171	55995	0,8%	155614	2,2%
	Gasolie	11657331	69088	0,6%	77531	0,7%
	Steenkool	3172851	72937	2,3%	172893	5,4%
halfnatte kalkwassing	Residuele	7173171	76992	1,1%	656461	9,2%
	Gasolie	11657331	94996	0,8%	656389	5,6%
	Steenkool	3172851	100289	3,2%	662515	20,9%
natte water	Residuele	7173171	111989	1,6%	221055	3,1%
	Gasolie	11657331	138176	1,2%	221017	1,9%
	Steenkool	3172851	145875	4,6%	224233	7,1%

Tabel 6: Stofreducerende maatregelen

<b>1 MW, 6000 draaiuren</b>						
	<b>Brandstof</b>	<b>TJK stookinstallatie</b>	<b>TJK EOP best case</b>	<b>% kostenstijging</b>	<b>TJK EOP worst case</b>	<b>% kostenstijging</b>
Multicycloon	residuele	235021	2637	1,1%	2637	1,1%
	Steenkool	155014	2679	1,7%	2679	1,7%
Stofwasser	Steenkool	155014	6466	4,2%	6466	4,2%
Doekenfilter	residuele	235021	2504	1,1%	6450	2,7%
	Steenkool	155014	3261	2,1%	8402	5,4%
ESP droog	residuele	235021	6729	2,9%	19994	8,5%
	Steenkool	155014	7183	4,6%	20448	13,2%
ESP nat	residuele	235021	17186	7,3%	19994	8,5%
	Steenkool	155014	17640	11,4%	20448	13,2%
<b>5 MW, 6000 draaiuren</b>						
	<b>Brandstof</b>	<b>TJK stookinstallatie</b>	<b>TJK EOP best case</b>	<b>% kostenstijging</b>	<b>TJK EOP worst case</b>	<b>% kostenstijging</b>
Multicycloon	residuele	942491	3200	0,3%	3200	0,3%
	Steenkool	542459	3412	0,6%	3412	0,6%
Stofwasser	Steenkool	542459	21051	3,9%	21051	3,9%
Doekenfilter	residuele	942491	12518	1,3%	29168	3,1%
	Steenkool	542459	16306	3,0%	37993	7,0%
ESP droog	residuele	942491	32597	3,5%	52876	5,6%
	Steenkool	542459	34867	6,4%	55146	10,2%
ESP nat	residuele	942491	82787	8,8%	52876	5,6%
	Steenkool	542459	55146	10,2%	85057	15,7%
<b>20 MW, 6000 draaiuren</b>						
	<b>Brandstof</b>	<b>TJK stookinstallatie</b>	<b>TJK EOP best case</b>	<b>% kostenstijging</b>	<b>TJK EOP worst case</b>	<b>% kostenstijging</b>
Multicycloon	residuele	3061216	5310	0,2%	5310	0,2%
	Steenkool	1461088	6162	0,4%	6162	0,4%
Stofwasser	Steenkool	1461088	70761	4,8%	70761	4,8%
Doekenfilter	residuele	3061216	50072	1,6%	67338	2,2%
	Steenkool	1461088	41125	2,8%	87713	6,0%
ESP droog	residuele	3061216	99706	3,3%	126916	4,1%
	Steenkool	1461088	108786	7,4%	135996	9,3%
ESP nat	residuele	3061216	99706	3,3%	320729	10,5%
	Steenkool	1461088	108786	7,4%	329809	22,6%

<b>50 MW, 6000 draaiuren</b>						
	<i>Brandstof</i>	<i>TJK stookin- stallatie</i>	<i>TJK EOP best case</i>	<i>% kosten- stijging</i>	<i>TJK EOP worst case</i>	<i>% kosten- stijging</i>
Multicycloon	residuele	7173171	9532	0,1%	9532	0,1%
	Steenkool	3172851	11661	0,4%	11661	0,4%
Stofwasser	Steenkool	3172851	167176	5,3%	167176	5,3%
Doekenfilter	residuele	7173171	125180	1,7%	100513	1,4%
	Steenkool	3172851	102813	3,2%	130927	4,1%
ESP droog	residuele	7173171	161328	2,2%	308188	4,3%
	Steenkool	3172851	184029	5,8%	330889	10,4%
ESP nat	residuele	7173171	161328	2,2%	774516	10,8%
	Steenkool	3172851	184029	5,8%	797217	25,1%

## BIJLAGE 5: FINALE OPMERKINGEN

Dit rapport komt overeen met wat het BBT-kenniscentrum momenteel 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 begeleidingscomité 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 Essenscia

'Essenscia gaf aan niet te kunnen aanvaarden dat een aantal technieken als "Best Beschikbare Techniek" worden beschouwd.

Deze opmerking werd al eerder in het BBT-proces geformuleerd als volgt:

*We blijven het een probleem vinden dat dit document zonder meer wordt ingedeeld als "BBT-studie". Deze studie is sowieso zinvol, maar de benoeming "BBT-studie" is ons inziens pas van toepassing indien enkel technieken als BBT worden bestempeld die nu reeds op de markt zijn en concreet toegepast worden op het beschouwde toepassingsgebied van de kleine en middelgrote stookinstallaties (daarom niet per se in Vlaanderen, maar toch ergens in de wereld). De aangehaalde technieken worden reeds toegepast in andere toepassingsgebieden, bv. grote stook- en procesinstallaties, maar dat is niet noodzakelijk een garantie dat jullie cijfermateriaal klopt voor het beschouwde toepassingsgebied in deze studie, laat staan voor toekomstige situaties.*

*Zijn we dus zeker dat de vermelde technieken reeds "beschikbaar" zijn op kleine en middelgrote stookinstallaties? Kan je als exploitant vandaag reeds, conform de Vlarem-definitie van BBT, op redelijke voorwaarden dergelijke kleine of middelgrote stookinstallaties met toegepaste technieken aanschaffen, m.a.w. staan ze in de catalogi van de leveranciers of hebben ze effectief (referenties?) al ergens installaties gezet aan de kostprijs en met de reductiebaten die ze jullie hebben doorgegeven? Jullie geven bv. aan dat alleen al de nageschakelde technieken enkel worden besproken op basis van literatuurstudies en niet op basis van reële situaties: zijn dat niet eerder "best wenselijke technieken", ook al worden die technieken reeds in andere toepassingsgebieden toegepast?*

Ook werd gesteld:

*Zonder bovenstaande argumentatie te herhalen, zijn we van mening dat een aantal technieken op kleine en middelgrote stookinstallaties als zogenaamde "emerging techniques" in aanmerking kunnen komen, maar absoluut niet als Best Beschikbare Techniek. het volstaat daarvoor terug te grijpen naar de definities op bvb <http://www.emis.vito.be/begrip-bbt>:*

## Begrip BBT

### Doel BBT

- bedrijven aanzetten om zo milieuvriendelijk mogelijk te werken.

### Technieken (BBT)

- technische en organisatorische hulpmiddelen.

### Beschikbare (BBT)

- moeten in praktijk reeds zijn toegepast;
- geen experimentele technieken;
- aangeboden op de markt;
- geen overmatige kosten;
  - kosten redelijk t.o.v. resultaat;
  - kosten haalbaar voor bedrijven in de betrokken bedrijfstak.

### Beste (BBT)

meest doeltreffend ter bescherming van mens en milieu;

- integrale benadering (voor mens en elk onderdeel van het milieu);
- meerdere "beste" technieken mogelijk.

BBT = BATNEEC (Best Available Techniques Not Entailing Excessive Costs)

Term BBT wordt gebruikt in het kader van de milieuregulering (hoofdzakelijk milieuvergunningen)

Hieruit volgt ons inziens duidelijk dat:

- De techniek reeds in de praktijk moet zijn toegepast;
- De techniek niet experimenteel mag zijn;
- De techniek moet worden aangeboden op de markt.

Dit wordt ook bevestigd in het VITO-richtlijnendocument voor de bepaling van BBT ([http://www.emis.vito.be/sites/default/files/pagina/BBT\\_richtlijn.pdf](http://www.emis.vito.be/sites/default/files/pagina/BBT_richtlijn.pdf)), paragraaf m.b.t. "stap 3: selectie van technisch haalbare kandidaat-BBT":

*"De technische haalbaarheid van een bepaalde techniek wordt in principe aangetoond (of weerlegd) op basis van praktijkervaringen of op basis van gegevens in Vlaamse of Europese BBT-sectorrapporten. In principe kunnen technieken die louter op experimentele schaal uitgetest zijn, hier uitgesloten worden. dit wil uiteraard niet zeggen dat het bedrijf uiteindelijk niet kan opteren om een dergelijke experimentele techniek in te voeren, bv. wanneer geen BBT gevonden worden, wanneer de BBT niet voldoende ver gaan of men een subsidie kan krijgen. Een goede indicatie voor de technische haalbaarheid is het **reeds toegepast zijn in andere bedrijven in vergelijkbare condities**".*

Een bepaalde techniek kan voor kleine en middelgrote stookinstallaties niet als "BBT" worden beschouwd op basis van louter de toepassing van deze technieken op grote stookinstallaties. Als een techniek dus als "BBT" wordt ingedeeld, moeten er concrete referenties tegenover staan die de beschikbaarheid op kleine en middelgrote stookinstallaties aantonen. Op verschillende plaatsen in hoofdstuk 5.2 wordt meermaals



aangegeven dat end-of-pipetechnieken bij deze installaties zelden of nooit worden toegepast, dat het cijfermateriaal uit de literatuur ver uit elkaar ligt, dat er sprake kan zijn van onder- of overschatting etc.

De redenering gaat zeker op voor de kostprijs: voor een grote stookinstallatie kan een SCR misschien redelijk in verhouding staan tot de kost van de ganse installatie en de beoogde absolute baten, maar dit geldt niet noodzakelijk bij kleine of middelgrote stookinstallaties. De bepaling van kostprijzen op basis van extrapolaties van kosten en reducties uit de literatuur missen enige realiteitszin en betrouwbaarheid, zoals wordt aangegeven onder 5.2.5. Het hanteren van worst en best case scenario's op basis van de weinige, beschikbare data garandeert daarom echter niet dat het beperkte gegevensbereik een juiste weergave verzekert of tot een correcte conclusie leidt.

Terug wordt hier bevestigd dat de techniek daadwerkelijk op de schaal van kleine en middelgrote stookinstallaties dient toegepast, vooraleer realistische inschattingen te kunnen maken qua kost en reductie. Zoniet zou een lineaire extrapolatie misschien zelfs kunnen leiden tot de beslissing dat SCR "BBT" is voor elke huis-, tuin- en keukenboiler, maar het wordt betwijfeld of dit op de markt zal gevonden worden.

Essenscia drong meermaals aan dit standpunt erg duidelijk in de studie te preciseren, door de titel van de studie aan te passen, door de technieken niet BBT, maar "emerging techniques" te noemen, ... maar niet door deze principiële opmerkingen niet te verwerken en alleen als bijlage bij de finale versie op te nemen.

Gezien Essenscia's fundamentele opmerkingen niet (behalve achteraf in deze bijlage) in de studie verwerkt werden, distantiëren Essenscia en de deelnemende vertegenwoordigers van de leden van Essenscia zich van deze studie."

### Standpunt VITO

De definitie van BBT in titel I van het VLAREM, artikel 1, 29° zegt over het begrip "beschikbare" het volgende:

*"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."*

Het feit dat een techniek effectief reeds wordt toegepast in de betrokken sector is inderdaad, zoals gesteld in het VITO-richtlijnendocument voor de bepaling van BBT ([http://www.emis.vito.be/sites/default/files/pagina/BBT\\_richtlijn.pdf](http://www.emis.vito.be/sites/default/files/pagina/BBT_richtlijn.pdf)), een goede indicatie voor de beschikbaarheid. Het is echter geen noodzakelijke voorwaarde. Volgens de definitie is het immers niet nodig dat een techniek effectief wordt toegepast, maar wel dat hij zodanig ontwikkeld is dat hij kan toegepast worden. Op basis van contacten met buitenlandse instanties (bijvoorbeeld het Nederlandse Infomil, contactpersoon Tonnie Boom en het Nederlandse ECN, contactpersoon Pieter Kroon) en leveranciers, stelt het BBT-kenniscentrum dat er geen twijfel over bestaat dat de als BBT geselecteerde technieken kunnen toegepast worden, en meer nog, in sommige gevallen ook effectief toegepast worden.

Wat betreft het cijfermateriaal is het BBT-kenniscentrum zich bewust van de beperkingen van deze studie. Het klopt dat hier in bepaalde gevallen beroep moet worden gedaan op info uit andere toepassingsgebieden. Hoewel vele technieken recent toepassing kennen in deze installaties (in het buitenland), is het niet zo eenvoudig hier altijd de nodige informatie rond te krijgen. Met de onzekerheden op de data werd dan ook zo veel mogelijk rekening gehouden en dat wordt ook duidelijk vermeld in de tekst.





