



Energieonderzoek Centrum Nederland

Gas-, hout- en oliegestookte ketels

**NEC en fijn stof emissies van ketels
met een vermogen van minder dan 1 MW_{th}**

**W.G. Roeterdink
P. Kroon**

Verantwoording

Dit rapport is in opdracht van het ministerie van VROM opgesteld. Bij ECN is dit project bekend onder nummer 50036. Deze versie is gemaakt op 17 december 2010, maar is inhoudelijk niet aangepast ten opzichte van de versie van September 2010.

Abstract

In this report an overview of the NO_x and particulate matter emissions of combustion installations with a thermal power up to 1 MW will be given. This overview includes the emissions of the Best Available Techniques (BAT) and (future) legislation in several European countries. The emissions of installations for combustion with a nominal thermal power below 50 MW are regulated by BEMS (Dutch decree on emission limits for medium size combustion plants). The emission regulations in BEMS are based on the Best Available Techniques (BAT) for combustion under the condition that the development of installations for biomass combustion will not be hampered by posing too low emission limits. However, installations for combustion with a nominal thermal power below 1 MW are not included in BEMS.

For the Department of Housing, Spatial Planning and the Environment (VROM) an overview is made in which the BAT for combustion installations with a thermal power up to 1 MW are evaluated. Furthermore local regulations existing in some countries in Europe are discussed. However, in the European Union legislation for emission limits of these installations for combustion is currently in progress, as part of the Ecodesign directive. When approved by the EU, this legislation has to be implemented in all member states. The legislation covers gas- and oil fired boilers with a nominal thermal power below 400 kW and is expected to take effect in 2013 for gas and 2014 for oil. The current proposition for the NO_x emission limit of gas fired boilers is 50 mg/kWh. The BAT for gas fired boilers already allow for NO_x emissions as low as 16 mg/kWh. The current proposition for the NO_x emission limit of oil fired boilers is 105 mg/kWh.

Within the Ecodesign directive no proposition has been made yet (mid 2010) for the emission limits of solid fuel fired boilers. Studies show that the BAT for wood fired boilers are based on the two-stage combustion principle. This technique can significantly lower the emissions of CO and unburned hydrocarbons. The NO_x and particulate matter emissions of these boilers however, depend very much on the type of wood used but are significantly lower than these emissions from boilers with a single combustion chamber. The combustion of wood logs give rise to a NO_x emission as low as 40 mg/m³ but a relatively high particulate emission up to 170 mg/m³. However, electrostatic precipitators or fabric filters can lower this particulate emission to about 10 mg/m³, all at 6% oxygen in the exhaust gas.

The combustion of pellet wood gives rise to a relatively high NO_x emission of about 170 mg/m³ but a very low particulate matter emission of about 20 mg/m³.

Inhoud

Lijst van tabellen	5
Lijst van figuren	6
Samenvatting	7
1. Inleiding	10
1.1 Leeswijzer	11
2. Referentie	12
2.1 BEMS	12
2.2 NEC-emissies en luchtkwaliteit	12
2.3 Aantallen ketels in Nederland	15
2.4 Ecodesign richtlijn voor CV-ketels	16
3. Gasgestookte ketels	18
3.1 Verschillende typen gasgestookte ketels	18
3.2 Emissies en emissie-eisen gasgestookte ketels	18
3.2.1 Besluit typekeuring CV-ketels	18
3.2.2 Stand van zaken Ecodesign richtlijn	19
3.2.3 Keurmerk Schone verbranding	19
3.2.4 Duitse eisen aan gasketels	19
3.2.5 Het Duitse Blaue Engel label	20
3.2.6 Belgische eisen aan gasketels	20
3.2.7 Britse eisen aan gasketels	20
3.2.8 Emissies van ketels op de markt	21
3.2.9 Emissie overzicht keuringsgegevens.	22
3.2.10 Totaal beeld emissies en eisen gasgestookte ketels	22
3.3 Best Beschikbare technieken	23
3.4 Kosten gasgestookte ketels	25
4. Olie- en LPG gestookte ketels	26
4.1 Verschillende typen oliegestookte ketels	26
4.2 Emissies en emissie-eisen oliegestookte ketels	26
4.2.1 Besluit typekeuring CV-ketels	26
4.2.2 Stand van zaken Ecodesign richtlijn	27
4.2.3 Toekomstige emissie-eisen in Duitsland	27
4.2.4 Duitse Blaue Engel label	28
4.2.5 Belgische eisen aan olieketels	28
4.2.6 Emissies van olieketels op de markt	29
4.2.7 Totaalbeeld emissies en eisen oliegestookte ketels	29
4.3 Best beschikbare technieken	30
4.4 Kosten oliegestookte ketels	30
4.5 Enkele gegevens over LPG	31
4.5.1 Label schone verbranding bij LPG	31
4.5.2 Emissies van LPG-installaties op de markt	31
4.5.3 Kosten LPG-ketels	32
5. Houtgestookte ketels	33
5.1 Ontwikkeling van houtgestookte ketels	33
5.2 Emissies en emissie-eisen houtgestookte ketels	34
5.2.1 Europese productnormen voor houtgestookte ketels	34
5.2.2 Zwitserse emissienormen voor houtgestookte ketels	34
5.2.3 Nederlandse eisen in de NeR speciale regeling F7	35
5.2.4 Duitse emissienormen voor houtgestookte ketels	35
5.2.5 Voorstel normstelling van een fabrikant	36

5.2.6	TüV typekeur onderzoek	36
5.2.7	Voorbeeld van buitenlandse ketel	37
5.2.8	Totaal beeld emissies en eisen houtgestookte ketels	37
5.3	Best Beschikbare Technieken	38
5.4	Kosten houtgestookte ketels	41
6.	Kolengestookte ketels	44
6.1	Ontwikkeling van kolengestookte ketels	44
6.2	Emissies en emissie-eisen kolengestookte ketels	44
6.2.1	Nederlandse emissie-eisen aan kolenketel in BEES B.	44
6.2.2	Duitse emissienormen voor kolengestookte ketels	44
6.2.3	Belgische emissienormen voor kolengestookte ketels	45
6.2.4	Vergelijking tussen stof uitstoot van hout en kolengestookte ketel.	45
6.2.5	Totaal beeld emissies en eisen kolengestookte ketels	45
6.3	Best beschikbare technieken	46
6.4	Kosten kolengestookte ketels	46
7.	Conclusies	47
	Referenties	49
Bijlage A	Omrekeningen	53

Lijst van tabellen

Tabel 2.1	<i>Directe emissies naar categorie in 2008 (voorlopige cijfers)</i>	13
Tabel 2.2	<i>Grenswaarden voor de kwaliteit van de buitenlucht</i>	13
Tabel 2.3	<i>Emissie huishoudens in 2008 en de afname ten opzichte van 1990</i>	15
Tabel 2.4	<i>Aantallen ketels (<1 MW_{th}) bij huishoudens en in de utiliteitssector eind 2007</i>	15
Tabel 2.5	<i>Aantallen ketels (<1 MW_{th}) bij de industrie en de agrarische sector eind 2007</i>	16
Tabel 2.6	<i>Voorstel emissie-eisen in de Eco design richtlijn voor 2013</i>	17
Tabel 2.7	<i>Efficiëntie eisen voor olie en gasgestookte ketels in de Ecodesign richtlijn</i>	17
Tabel 3.1	<i>Besluit typekeuring CV-ketels NO_x-emissie-eisen bij 3% O₂.</i>	18
Tabel 3.2	<i>Voorstel emissie-eisen in de Eco design richtlijn voor 2013 ketels <400 kW</i>	19
Tabel 3.3	<i>SV-label norm in verschillende eenheden</i>	19
Tabel 3.4	<i>Voorgenomen emissie-eisen voor aardgasverbranding in Duitsland 2015</i>	20
Tabel 3.5	<i>Emissie-eisen bij subsidieverlening zon-thermische projecten in Hamburg</i>	20
Tabel 3.6	<i>Emissie-eisen voor Blauwe Engel label bij gasketels</i>	20
Tabel 3.7	<i>Emissie-eisen voor aardgasverbranding <400 kW in België</i>	20
Tabel 3.8	<i>Emissie enkele typen CV-ketels bij 3% O₂</i>	21
Tabel 3.9	<i>Aantal installaties ingedeeld naar gemiddelde en maximale emissie</i>	22
Tabel 3.10	<i>Totaal overzicht emissie-eisen gasketels</i>	23
Tabel 3.11	<i>Extra kosten EPC vermindering</i>	24
Tabel 4.1	<i>Besluit typekeuring CV-ketels NO_x-emissie-eisen bij 3% O₂.</i>	26
Tabel 4.2	<i>Voorstel emissie-eisen in de Ecodesign richtlijn voor 2014 ketels <400 kW</i>	27
Tabel 4.3	<i>NO_x-emissies oliegestookte ketels</i>	27
Tabel 4.4	<i>Emissie-eisen voor lichte stookolie verbranding in Duitsland</i>	28
Tabel 4.5	<i>Emissie-eisen bij subsidieverlening zon-thermische projecten in Hamburg</i>	28
Tabel 4.6	<i>Emissie-eisen voor Blauwe Engel label bij oliestook</i>	28
Tabel 4.7	<i>Emissie-eisen en verlagingsoptie voor vloeibare brandstof <400 kW in België</i>	28
Tabel 4.8	<i>Totaal overzicht emissie-eisen huisbrandolie gestookte ketels</i>	29
Tabel 4.9	<i>Eisen SV-label voor LPG</i>	31
Tabel 4.10	<i>Metingen aan propaangestookte installaties gekeurd tussen 2002 en 2006</i>	31
Tabel 5.1	<i>Productnormen houtgestookte ketels verplicht in Zwitserland tot 350 kW</i>	34
Tabel 5.2	<i>Emissienormen van de LRV bij 13% en 6% O₂</i>	34
Tabel 5.3	<i>NeR Emissie-eisen F7</i>	35
Tabel 5.4	<i>Emissie-eisen voor biomassa verbranding per 24 juli 2002</i>	35
Tabel 5.5	<i>Emissie-eisen voor biomassa verbranding in Duitsland anno 2015</i>	35
Tabel 5.6	<i>Voorstel normstelling fabrikant-1</i>	36
Tabel 5.7	<i>Type keuringsemisies van pellethout en houtchips gestookte ketels</i>	36
Tabel 5.8	<i>Gemeten emissies van Ling Pelletkachels</i>	37
Tabel 5.9	<i>Emissie-eisen en metingen voor biomassa verbranding</i>	38
Tabel 5.10	<i>Emissies van ketels met de best beschikbare technieken bij 6% zuurstof</i>	38
Tabel 5.11	<i>NO_x-emissie van FLOX-ketels</i>	39
Tabel 5.12	<i>Optimalisatie lucht/brandstofverhouding voor houtgestookte installaties</i>	40
Tabel 5.13	<i>Chemische en fysische eisen voor hout pellets</i>	41
Tabel 5.14	<i>Kosten houtgestookte ketels</i>	41
Tabel 5.15	<i>Kosten additionele filters en andere technologie bij kleine ketels</i>	42
Tabel 5.16	<i>Kosten houtsnipper gestookte ketel (Nederland)</i>	42
Tabel 5.17	<i>Kosten doekfilters en elektrostatische filters (Zwitserland)</i>	42
Tabel 6.1	<i>Emissie-eisen in BEES B</i>	44
Tabel 6.2	<i>Emissie-eisen voor vaste brandstoffen in Duitsland anno 2015</i>	44
Tabel 6.3	<i>Vlaamse eisen aan met vaste brandstoffen gestookte installaties</i>	45
Tabel 6.4	<i>Emissie van kolen en houtgestookte ketels</i>	45
Tabel 6.5	<i>Emissie-eisen voor kolen uit de diverse paragrafen</i>	45
Tabel 6.6	<i>Emissie en efficiëntie van een moderne kolengestookte ketel</i>	46

Lijst van figuren

Figuur 2.1	<i>Ontwikkeling van de CO₂-emissies</i>	14
Figuur 2.2	<i>Ontwikkeling van de NO_x-emissies</i>	14
Figuur 5.1	<i>Houtketels voor warmte bij bedrijven</i>	33
Figuur 5.2	<i>Ling pelletkachel</i>	37

Samenvatting

In dit rapport staan de NO_x en fijn stof emissies uit ketels kleiner dan 1 MW_{th} centraal. Op verzoek van het ministerie van VROM heeft ECN informatie verzameld uit de literatuur, maar ook uit directe contacten, over huidige emissies, best beschikbare technieken en wetgeving. Het ligt in de bedoeling van de opdrachtgever om deze informatie te gebruiken bij nieuwe wetgeving voor dit soort installaties. Inmiddels is duidelijk dat er in het kader van de Ecodesign richtlijn binnen Europa al gewerkt wordt aan emissie-eisen voor installaties kleiner dan 400 of 500 kW_{th}. Na de eerste consultatieronde is er in Ecodesign kader een voorstel gedaan voor een NO_x-emissie-eis voor olie- en gasgestookte ketels (EU, 2009). Binnen de Ecodesign richtlijn voor vaste brandstoffen zijn emissie-eisen in voorbereiding voor houtgestookte ketels, deze zijn echter medio 2010 nog niet gepubliceerd.

Gas- en oliestook

In de lopende discussie over de Ecodesign richtlijn zijn voor gas- en oliegestookte ketels, met een nominaal vermogen van minder dan 400 kW, NO_x-emissie-eisen gesteld, die waarschijnlijk in 2013 voor gas en 2014 voor olie van kracht worden. Een NO_x-emissie limiet van 50 mg/Nm³ bij 3% zuurstof is voorgesteld voor gasgestookte ketels en een emissie limiet van 102 mg/Nm³ bij 3% zuurstof voor oliegestookte ketels¹. Het precieze meetregime is uit de stukken nog niet duidelijk op te maken en het is van belang om vast te stellen of het hier om een gemiddelde of een maximale emissie gaat.

In zijn algemeenheid kan gesteld worden dat de limiet bij gasstook van 50 mg NO_x/Nm³ bij 3% zuurstof zal leiden tot verlaging van de emissies in Nederland door verbetering van ventilatorbranders en het (waarschijnlijk) stoppen met het gebruik van atmosferische branders. In het segment van gasgestookte CV-ketels zijn inmiddels de nodige installaties te koop die ook 40 mg/Nm³ halen en zelfs enkele die al beneden de 20 mg/Nm³ uitkomen. Voor kleine CV-ketels ligt de 50 mg/Nm³ norm dan ook boven het BBT (beste beschikbare techniek) niveau. Stookinstallaties kleiner dan 50 MW_{th}, zowel ketels, turbines als motoren, vallen op dit moment onder BEMS (VROM, 2008). BEMS geldt voor installaties van 1 tot 50 MW_{th}. Uitgaande van deze BEMS-waarde van 70 mg/Nm³ voor NO_x ligt het voor de hand om voor de klasse tussen de 400 kW en 1 MW_{th} een waarde te kiezen die niet lager ligt dan het Ecodesign voorstel en niet hoger dan BEMS. Bij de grotere ketels van 400-1000 kW zou het kunnen dat de branders 30% duurder zijn om aan de 50 mg/Nm³ eis te voldoen, wat neerkomt op € 1.000 tot € 3.000 per ketel. De stijging van totale ketelprijs is in de orde van 6%.

De voorgestelde eis in de Ecodesign richtlijn van ~100 mg/Nm³ voor oliestook kan in Nederland tot beperkte milieuverbetering leiden. Deze eis is wel ongeveer gelijk aan de eis in het typekeur, maar daar gaat het om een gemiddelde emissie. Afhankelijk van het meetregime² zou het bij Ecodesign om een maximale emissie kunnen gaan. Kijkend naar de markt voor kleine ketels had de waarde ook lager gekozen kunnen worden, ergens tussen de 70 en 90 mg/Nm³. Uitgaande van het BEMS-waarde van 120 mg/Nm³ (VROM, 2010) ligt het ook hier voor de hand om voor de klasse tussen de 400 kW en 1 MW_{th} een waarde te kiezen tussen de 100 en 120 mg/Nm³. Probleem is wel dat de nieuwe Duitse eis voor dit formaat oliebranders in 2015 op 179 mg/Nm³ komt te liggen, en dat Duitsland een belangrijke afzetmarkt is voor dit type branders. Interessante technieken die in de toekomst tot lagere emissies van oliestook kunnen leiden zijn het voorverwarmen van de olie (gebeurt bijvoorbeeld al bij bio-olie) en het verwijderen van stikstof uit de huisbrandolie. Dit laatste zou wellicht in combinatie met ontzwellen kunnen plaatsvinden.

¹ In de Ecodesign richtlijn worden 50 mg/kWh en 105 mg/kWh genoemd. Deze limieten komen overeen met 50 mg/Nm³ en 102 mg/Nm³ waarbij van de onderste stookwaarde gebruik wordt gemaakt.

² De huidige concept teksten geven hierover niet direct 100% uitsluitel.

Overwogen kan worden om ook een eis voor CO of fijn stof te formuleren om een goede uitbrand van de olie te garanderen. Bijvoorbeeld 25 mg/Nm³ voor CO of 5-15 mg/Nm³ voor fijn stof. Voordeel van een CO-norm is dat dit ook bij onderhoudsbeurten eenvoudig te meten is, wat niet geldt voor fijn stof. Ten aanzien van de SO₂-emissies is het zinvol om de eis vanuit BEMS, 200 mg/Nm³, ook door te trekken naar de kleinere installaties. Hiermee wordt voorkomen dat men kleinschalig relatief sterk vervuilende brandstoffen gaat gebruiken. Ook zou overwogen kunnen worden om voor huisbrandolie het zwavelgehalte in navolging van Duitsland naar 50 ppm te verlagen om zo de toepassing van HR-olieketels mogelijk te maken.

Voor propaan, butaan of LPG (een mengsel van butaan en propaan) zouden er separate emissie-eisen geformuleerd kunnen worden. In het Ecodesign concept wordt LPG (butaan en propaan) tot de gassen gerekend en voor installaties <400 kW is er dan de 50 mg/Nm³ eis.

Mede omdat het mogelijk is om bio-olie voor te verwarmen en omdat het zwavel en het stikstofgehalte laag zijn, is er eigenlijk geen reden om hier andere eisen te formuleren dan voor 'fossiele' olie. Bio-olie en biogas worden (nog) niet meegenomen in de voorstellen voor de Ecodesign richtlijn. Dit geldt ook voor de aparte klasse van luchtverhitters waar het Ecodesign traject inmiddels wel is gestart, maar medio 2010 is hier nog onvoldoende informatie over om goede afspraken te doen.

Houtstook

In de voorstudie van de Ecodesign richtlijn voor vaste brandstof gestookte ketels zijn de NO_x en fijn stof emissies gepubliceerd van ketels gebouwd volgens de beste beschikbare technieken (BBT). Deze emissiewaarden zijn samengesteld uit gegevens die verstrekt zijn door de verschillende fabrikanten binnen Europa. De ketels met de laagste uitstoot werken volgens het principe van gefaseerde verbranding en hebben twee verbrandingskamers. In de eerste kamer wordt het hout gedroogd en gedeeltelijk vergast met het rookgas uit de tweede verbrandingskamer. Door het gebruik van verschillende zuurstofregimes in de twee kamers kan een verlaging van de uitstoot van CO, C_xH_y, NO_x en fijn stof bewerkstelligd worden. De uitstoot van NO_x en fijn stof van deze ketels zijn echter ook sterk afhankelijk van het soort brandstof. Schoonhout gestookte ketels halen NO_x-emissies van 40 mg/Nm³, maar hebben een hoge uitstoot van fijn stof van ongeveer 170 mg/Nm³. Pellethout gestookte ketels hebben een relatief hoge NO_x-uitstoot van ongeveer 170 mg/Nm³, maar een lage fijn stof uitstoot van ongeveer 20 mg/Nm³. Er zijn momenteel geen katalysatoren beschikbaar die NO_x eenvoudig uit het rookgas kunnen verwijderen. Door middel van doek- en elektrostatische filters kan de hoeveelheid fijn stof in de rookgassen verlaagd worden tot minder dan 10 mg/Nm³. Internationaal wordt gewerkt aan 'goedkope' elektrostatische filters voor kleine vermogens. Elektrofilters hebben echter meestal een lager afvangstrendement dan goede doekfilters.

De uitstoot van fijn stof is sterk verhoogd bij deellast gebruik van de houtgestookte ketel. Om deellast werking te minimaliseren kunnen grote warmteopslag tanks gebruik worden tot wel enkele duizenden liters. Houtgestookte ketels hebben altijd een substantiële hogere uitstoot van zowel NO_x als fijn stof dan gasgestookte ketels. Uitwisseling van gasgestookte ketels met houtgestookte ketels levert dus altijd een verslechtering van de luchtkwaliteit op.

Kolenstook

Ten aanzien van kolenstook zijn er geen zwaarwegende redenen om de BEMS-waarden niet door te trekken naar kleinere kolengestookte installaties. Hierbij speelt mee dat kleinschalige kolenstook maar liefst op drie terreinen (NO_x, SO₂ en fijn stof) luchtvervuiling kan veroorzaken en er ook uit reden van klimaatverandering geen reden is om kolen te bevoordelen. Hoewel het technisch mogelijk is om een kleinschalige installatie aan de eisen te laten voldoen, zal dit wel tot gevolg hebben dat een mogelijk economisch voordeel uit een lagere kolenprijs door de extra investeringskosten teniet gedaan wordt.

Energiebesparing

De emissie van verbrandingsinstallaties kan ook beperkt worden door de energievraag en het daaruit voortvloeiende brandstofverbruik te verminderen. Voor de installaties waar het hier om gaat betreft dit bijvoorbeeld isolatie, gebalanceerde ventilatie en het gebruik van thermische zonne-energie. Ook kan de uitstoot verbeterd worden door het rendement de van de verbrandingsinstallatie te verbeteren. Binnen de Ecodesign richtlijn zijn bijvoorbeeld voorstellen gedaan voor de minimale efficiëntie van olie- en gasgestookte ketels onder de 400 kW. Deze eisen liggen in het algemeen lager dan de eisen in het besluit rendementseisen CV-ketels.

Het is belangrijk dat energiebesparingsmaatregelen ook ‘maximaal’ worden ingezet bij de toepassing van hout of WKK (warmte-krachtkoppeling).

1. Inleiding

In dit rapport staan ketels kleiner dan 1 MW_{th} centraal. Op verzoek van VROM heeft ECN uit de literatuur, maar ook uit directe contacten, informatie verzameld over huidige emissies, best beschikbare technieken en wetgeving. Het ligt in de bedoeling van de opdrachtgever om deze informatie te gebruiken bij nieuwe wetgeving voor dit soort installaties.

Stookinstallaties groter dan 50 MW_{th} en andere installaties die onder de provinciale vergunningverlening vallen worden gereguleerd in BEES A en de IPPC-richtlijn (EU Directive, 1996). Stookinstallaties kleiner dan 50 MW_{th}, zowel ketels, turbines als motoren, vallen onder het nieuwe Besluit Emissie-eisen Middelgrote Stookinstallaties (BEMS) (VROM, 2008). Deze installaties hebben in het BEMS actuele en op BBT (Best Beschikbare Technieken) gebaseerde emissie-eisen. Voor biomassa-installaties is in BEMS het evenwicht gezocht tussen ruimte laten voor ontwikkeling van deze techniek en de randvoorwaarde dat dit niet ten koste mag gaan van de luchtkwaliteitseisen en het realiseren van de NEC-plafonds (National Emission Ceilings). Er is echter één uitzondering: ketels kleiner dan 1 MW_{th} vallen nog niet onder BEMS. Het gaat hierbij om installaties gestookt op biomassa, gas, olie of kolen. Voor gas- en oliegestookte heetwaterketels <0,9 MW_{th} geldt op dit moment nog wel het NO_x-typekeur voor CV-ketels (VROM, 1995). Kolengestookte ketels vielen ongeacht het nominale vermogen onder BEES B. Echter, nu BEMS in werking is getreden zijn er geen nationale emissie-eisen meer voor kolengestookte ketels met een nominaal vermogen kleiner dan 1 MW_{th}.

In dit rapport worden de Best Beschikbare Technieken van hout-, olie-, kolen- en gasgestookte ketels kleiner dan 1 MW_{th} besproken. Ook worden de emissie-eisen zoals deze gesteld zijn in Zwitserland, Duitsland en de EU besproken. Gas- en oliegestookte CV-ketels vallen onder het typekeur, dat emissie-eisen stelt voor ketels tot 0.9 MW_{th} (VROM, 1995). Dit typekeur staat echter op gespannen voet met Europese regelgeving, omdat het ook beschouwd kan worden als een belemmering van de internationale handel. VROM heeft dan ook met de invoering van BEMS het onderdeel typekeur van het besluit typekeur CV-ketels ingetrokken. De emissie-eisen in het besluit typekeur CV-ketels blijven echter wel gewoon van kracht. Bij de huishoudelijke hoog rendement CV-ketels, die nu op de Nederlandse markt verkocht worden, zijn branders en installaties zodanig geïntegreerd en aangepast dat deze (ruim) aan de emissie-eisen voldoen. Dit gaat niet direct veranderen. Bij een volledige afschaffing van de emissie-eisen zouden buitenlandse aanbieders wel CV-ketels in Nederland kunnen gaan verkopen met mogelijk hogere emissies. Bij de grotere installaties (>100 - >400 kW) en bij oliegestookte ketels wordt de brander los van de installatie verkocht. Het is hier bij volledige afschaffing van de eisen eenvoudiger om een (wellicht iets goedkopere) brander te plaatsen die niet aan de huidige Nederlandse emissie-eisen voldoet. Aan de andere kant wordt er in het kader van de Ecodesign richtlijn op Europese schaal gewerkt aan richtlijnen voor olie- en gasgestookte CV-ketels (Ecodesign, 2005) (SenterNovem, 2009). Als deze ingevoerd zijn, kan dit de emissieverhoging door import van branders beperken. Het ligt in de verwachting dat de Ecodesign richtlijn voor olie- en gasgestookte ketels van kracht wordt medio 2013³. Deze richtlijn gaat gelden voor ketels met een nominaal vermogen van minder dan 400 kW.

Een aparte groep betreft de installaties gestookt met een vaste brandstof. Houtgestookte CV-ketels hadden tot de invoering van BEMS nog geen een NO_x-emissie-eis voor installaties onder de 2.5 MW_{th}. Boven de 2.5 MW_{th} was de limiet gesteld op 400 mg NO_x per Nm³. Verder worden er onder de NER speciale regeling F7 al wel eisen gesteld aan de fijn stof uitstoot voor installaties onder de 2.5 MW_{th} waarin schoonhout verstuikt wordt. Op dit moment groeit deze

³ De richtlijn voor olie- en gasgestookte ketels zelf kan wellicht al in de laatste helft van 2011 ingaan. In het concept wordt aan de eis voor gasstook de ingangsdatum van 1 januari 2013 gekoppeld en aan de eis voor olie 1 januari 2014.

groep echter snel en ook voor de komende jaren wordt een groei van biomassa-installaties kleiner dan 1 MW_{th} voorzien. De nieuwe en op het niveau van Best Beschikbare Technieken (BBT) geactualiseerde emissiegrenswaarden voor kleine ketels dienen ertoe bij te dragen dat Nederland haar doelen binnen de NEC-richtlijn (EU, 2001) haalt en dat negatieve effecten op de luchtkwaliteit worden voorkomen.

1.1 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 wordt het effect op de NEC-doelstellingen en op de luchtkwaliteit beschreven. Eveneens worden in Hoofdstuk 2 de huidige aantallen aanwezige ketels per brandstofsoort gegeven. In Hoofdstuk 3 worden de huidige emissie-eisen, de Best Beschikbare Technieken en de kosten voor gasgestookte ketels behandeld. In de Hoofdstukken 4, 5 en 6 worden de huidige emissies en de BBT behandeld voor respectievelijk olie/LPG-, hout,- en kolengestookte ketels. Hoofdstuk 7 bevat de conclusies.

2. Referentie

2.1 BEMS

Stookinstallaties kleiner dan 50 MW_{th}, zowel ketels, turbines als motoren, vallen onder het nieuwe Besluit Emissie-eisen Middelgrote Stookinstallaties (BEMS) (VROM, 2008). Deze installaties hebben sinds de invoering van BEMS actuele en op BBT gebaseerde emissie-eisen. Voor biomassa-installaties is in BEMS het evenwicht gezocht tussen ruimte laten voor ontwikkeling van deze techniek en de randvoorwaarde dat dit niet ten koste mag gaan van de luchtkwaliteitseisen en het realiseren van de NEC-plafonds. Er is echter één uitzondering, ketels kleiner dan 1 MW_{th} vallen nog niet onder BEMS. Het gaat hierbij om installaties, die nu nog onder het besluit typekeuring verwarmingstoestellen luchtverontreiniging vallen gestookt op gas of olie. Kolengestookte installaties vielen ongeacht het nominale vermogen onder BEES B.

Het rookgas van een ketelinstallatie die valt onder BEMS, waarin de brandstof in vaste of vloeibare vorm wordt verstoekt, moet volgens het besluit van 7 december 2009 houdende nieuwe regels voor de emissie van middelgrote stookinstallaties BEMS voldoen aan de volgende emissieconcentratie-eisen:

- a) NO_x: 100 milligram per Nm³ voor een vaste brandstof en 120 milligram per Nm³ voor een vloeibare brandstof (VROM, 2010).
- b) SO₂: 200 milligram per Nm³.
- c) Totaal stof (Particulate Matter; PM): 5 milligram per Nm³.

De emissieconcentraties hebben betrekking op rookgas onder genormaliseerde condities⁴ omgerekend naar een zuurstof gehalte van 6% voor vaste brandstof en 3% voor olie.

Het rookgas van een ketelinstallatie, waarin gas wordt verstoekt, moet aan de volgende emissieconcentratie-eisen, gerekend bij 3% zuurstof, voldoen:

- a) NO_x: 70 mg/Nm³.
- b) SO₂: 200 milligram per Nm³.

Voor normstelling aan ketelinstallaties met een vermogen van minder dan 1 MW_{th} worden door VROM verschillende opties overwogen. Zo zouden de eisen opgenomen kunnen worden in BEMS waarbij dan ergens een koppeling met de Woningwet gemaakt kan worden. Andere opties zijn echter ook denkbaar. Verder is van belang dat er binnen Europa Ecodesign richtlijnen in voorbereiding zijn die emissie en rendementseisen gaan stellen aan olie-, gas- en vaste brandstofgestookte ketels < 400kW of <500 kW.

De vraag doet zich voor hoe de Ecodesign in Nederland geïmplementeerd wordt en hoe de nationale emissie wetgeving bij deze emissie-eisen zal gaan aansluiten.

2.2 NEC-emissies en luchtkwaliteit

De bijdrage door huishoudens en de utiliteitssector (handel, diensten en overheid; HDO) aan emissies die luchtverontreiniging veroorzaken, waaronder koolmonoxide (CO), zwaveldioxide (SO₂), stikstofoxide (NO_x) en fijn stof (PM₁₀) zijn weergegeven in Tabel 2.1, bron (CBS, 2009). Deze emissies zijn de feitelijke directe emissies dus indirecte emissies door elektriciteitsgebruik zijn niet bij de elektriciteit verbruikende sector opgenomen, maar vallen onder de energiesector.

⁴ Het volume van het rookgas, herleid naar een temperatuur van 273 Kelvin en een druk van 101,3 kiloPascal, na aftrek van het volume van het erin aanwezige water, berekend als waterdamp.

Tabel 2.1 *Directe emissies naar categorie in 2008 (voorlopige cijfers)*

Categorie	CO ₂ [Mton]	CO [kton]	SO ₂ [kton]	NO _x [kton]	PM ₁₀ [kton]
Landbouw stationair	8,3	1,5	0,1	12,5	9,5
Raffinage	11,8	4,0	25,7	8,6	1,3
Industrie totaal	31,9	146,6	14,2	30,1	8,3
Huishoudens	17,3	54,0	0,5	13,0	3,4
Energiesector	50,8	4,7	6,3	30,2	0,3
HDO en bouw	11,6	3,0	0,5	12,1	1,0
Milieu dienstverlening	2,4	2,0	0,2	3,8	0,0
Mobiele bronnen	39,6	231,4	4,0	181,5	11,5
Overig	0,8	1,4	0,1	1,0	1,4
Totaal	174,5	448,6	51,6	292,8	36,6
NEC-doelstelling 2010			50	260	
Huishoudens en HDO	28,9	57,0	1,0	25,1	4,4
Huishoudens en HDO	17%	13%	2%	9%	12%

Bron: CBS, 2009.

De laatste twee rijen in Tabel 2.1 tonen de bijdrage van huishoudens en utiliteit aan de emissie van CO₂ (volgens IPCC-definitie) en de NEC-emissies van SO₂ en NO_x in zowel absolute als relatieve zin. Duidelijk is dat de sectoren huishoudens en utiliteit een zeer geringe bijdrage hebben aan de SO₂-emissie en een relatief kleine bijdrage aan de totale NO_x-uitstoot. De NEC-deelstelling voor 2010 voor huishoudens gecombineerd met Handel, Diensten en Overheid (HDO) is voor NO_x 19 kton per jaar en voor SO₂ 2 kton per jaar (ECN, 2008). Duidelijk is dat deze deelstelling problematisch wordt voor de NO_x-uitstoot en dat door de introductie van houtgestookte en bio-olie ketels, de NO_x-emissie voor de sectoren huishoudens en HDO zal toenemen. Hoewel de CO en fijn stof emissies niet onder de NEC-doelstelling vallen gelden hiervoor wel grenswaarden voor de luchtkwaliteit zoals vastgelegd in de Regeling Beoordeling Luchtkwaliteit, (RBL, 2007). De grenswaarden gesteld aan de CO-emissie zijn voornamelijk ter voorkoming van koolmonoxide vergiftiging.

Tabel 2.2 *Grenswaarden voor de kwaliteit van de buitenlucht*

Stof	Tijdseenheid	Grenswaarde [µg/m ³]
NO ₂	jaargemiddelde	40
	uurgemiddelde	200
PM ₁₀	jaargemiddelde	40
	uurgemiddelde	50
SO ₂	jaargemiddelde	20
	24- Uurgemiddelde	125
CO	8 uurgemiddelde (98p)	10.000
Benz[a]pyreen	jaargemiddelde	1

In Nederland zijn er met name overschrijdingen van de grenswaarden voor de NO₂ en PM₁₀ concentraties in stedelijke gebieden. Door de EU is derogatie verleend voor het halen van zowel de fijn stof grenswaarde als de NO₂ grenswaarde respectievelijk tot de jaren 2011 en 2015. Hoewel deze overschrijdingen hoofdzakelijk veroorzaakt worden door de transportsector, kunnen bij een sterke toename van de aantallen houtgestookte ketels⁵ de sectoren huishoudens en utiliteit een meer significante bijdrage gaan leveren.

⁵ Op lokaal niveau leveren huishoudelijke houtkachels en (houtgestookte) open haarden al wel een significante bijdrage aan de fijn stof concentraties. Dit rapport richt zich echter op de houtgestookte CV-ketels, waarvan er veel minder zijn in Nederland.

Figuur 2.1 toont de ontwikkeling in de CO₂-emissie door huishoudens en de utiliteitssector. De uitstoot van CO₂ in de sector huishoudens neemt af, daarentegen neemt de uitstoot in de utiliteitssector nog steeds toe.



Figuur 2.1 *Ontwikkeling van de CO₂-emissies*

Het gebruik van biomassa gestookte ketels kan in de utiliteitssector zorgen dat deze opgaande CO₂ trend verbroken wordt. Door het gebruik van biomassa gestookte ketels zal de uitstoot van NO_x en fijn stof echter toenemen.



Figuur 2.2 *Ontwikkeling van de NO_x-emissies*

Figuur 2.2 laat de trend in de NO_x-emissie zien van de afgelopen 20 jaar. Een duidelijke daling van de NO_x-emissie kan waargenomen worden in de sector huishoudens. Echter de NO_x-uitstoot door de utiliteitssector is nagenoeg onveranderd gebleven, terwijl de CO₂-uitstoot licht is toegenomen. Deze daling van de NO_x-uitstoot in de sector huishoudens en de beperkte toename van NO_x-uitstoot in de sector utiliteit kan gedeeltelijk toegeschreven worden aan de verbetering van het rendement van de stookinstallatie. Bij de huishoudens is door de penetratie van schone HR-ketels ook de emissiefactor afgenomen (Gastech, 2007).

Tabel 2.3 *Emissie huishoudens in 2008 en de afname ten opzichte van 1990*

Emissie	Emissie 1990 [kton]	Emissie 2008 [kton]	Fractie van totale emissie in 2008 [%]	Absolute afname* t.o.v. 1990 [%]	CO ₂ gewogen afname [%]
CO ₂	19700	17300	10	12	-
NO _x	20.3	13	4	36	27
CO	70.4	54	10	23	13
SO ₂	1.1	0.5	1	55	48
PM ₁₀	4.38	3.35	9	24	13

* Afname van de emissies van huishoudens

In Tabel 2.3 is een analyse gemaakt van de emissieverandering bij huishoudens tussen 1990 en 2008. Duidelijk is dat hoofdzakelijk de NO_x- en SO₂-emissies substantieel gedaald zijn door specifieke maatregelen als huisbrandolie met minder zwavel en schonere verbrandingstechnieken. De emissies van CO en fijn stof zijn voornamelijk gedaald door de rendementsverbetering van de stookinstallatie. De CO en fijn stof uitstoot in 2008 kunnen voor het belangrijkste deel toegeschreven worden aan openhaarden en houtkachels. Door de introductie van biomassa gestookte ketels zal de CO en fijn stof emissie aanzienlijk kunnen toenemen.

2.3 Aantallen ketels in Nederland

Deze studie is gericht op de emissies door gas-, hout-, kolen- en oliegestookte ketels kleiner dan 1 MW_{th}. De aantallen hiervan bij de huishoudens en de utiliteit staan in Tabel 2.4. Hiernaast wordt er nog 35 PJ verbruikt door ketels <1MW_{th} in de industrie en de agrarische sector. Aan de vraag naar warmte werd in 2005 voor 80% voldaan door CV-ketels, 11% door collectieve verwarming en 9% door lokale verwarming zoals gaskachels (Kroon, 2009). Het ligt in de verwachting dat het aantal kachels in de toekomst zal afnemen en dat het aantal luchtverhitters stabiel zal blijven. Opgemerkt moet worden dat de aantallen ketels en kachels alleen aangeven welke techniek aanwezig is en niet in welke mate deze techniek gebruikt wordt en dus bijdraagt aan de emissies.

Tabel 2.4 *Aantallen ketels (<1 MW_{th}) bij huishoudens en in de utiliteitssector eind 2007*

Type ketel	Huishoudens	Energieverbruik [PJ]	Utiliteitssector	Energieverbruik [PJ]
Gasgestookt	6.000.000 (incl. 20.000 blok- verwarming)	260 (= 15,5 Mton CO ₂)	370.000	120 (= 6,8 Mton CO ₂)
waarvan HR [%]	82,0		75,9	
Huisbrandolie/LPG	40.000	Ca 3	? 3000	1
Houtgestookt	938	<0,1	Ca 25	0,1
Kolengestookt			?	<0,1

Nu de subsidie op de aanschaf van HR-ketels is afgelopen zou men kunnen verwachten dat de huidige fracties van HR-/VR-ketels (0,82/0,15) stabiliseert. Echter de emissie-eisen voor gasgestookte ketels zoals die nu voorgesteld zijn in de Ecodesign richtlijn voor NO_x (50 mg/Nm³) zijn te laag voor de oude generatie VR-ketels. Het lijkt dus aannemelijk dat het aantal VR-ketels na 2013 gaat afnemen omdat veel oudere modellen dan niet meer verkocht mogen worden.

In Tabel 2.5 is een overzicht gegeven van de aantallen bij de industrie en de landbouw. Het gaat hierbij grotendeels om schattingen. Bij de industrie is onder andere gebruik gemaakt van een CBS inventarisatie uit 2000 van het industriële gasverbruik na grootte van gasafname. Bij de agrarische sector onder andere naar het aantal glastuinbouwbedrijven ingedeeld naar glasoppervlak en naar het aantal hokdierbedrijven. Daarnaast zijn diverse energiestatistieken gebruikt.

Tabel 2.5 *Aantallen ketels (<1 MW_{th}) bij de industrie en de agrarische sector eind 2007*

Type ketel	Industrie	Energieverbruik [PJ]	Agrarische sector	Energieverbruik [PJ]
Gasgestookt	Ca 60000	Ca 20	Ca 13000	Ca 8
Huisbrandolie/LPG	<100	<0,1	Ca 10000	3
Houtgestookt	Ca 700	Ca 0,7	Ca 900	Ca 0,6
Kolengestookt	?	<0,1	<200	<0.8

2.4 Ecodesign richtlijn voor CV-ketels

Een belangrijke conclusie van het rapport 'Ecodesign of central heating boilers' (Ecodesign, 2007) is dat er binnen de EU geen gestandaardiseerd test protocol bestaat voor CV-ketels. In de verschillende protocollen die nu bestaan wordt de efficiëntie en de uitstoot bepaald bij het nominale vermogen en bij een deelvermogen van rond de 30%. Hoewel de uitstoot van koolmonoxide afhangt van het gevraagde vermogen van de ketel, blijkt uit praktijkmetingen dat de NO_x-emissie relatief ongevoelig is voor de mate van deellast waarin de ketel functioneert. Dus de NO_x-emissie in deellast is bijna gelijk aan de NO_x-emissie in vollast.

Het gemeten ketelrendement is een belangrijke factor in het rendement van de hele CV-installatie. Er spelen echter nog andere zaken een rol. Zo wordt niet getest wat het effect van het thermostaat gebruik is. Is het zuiniger om de CV uit te zetten gedurende de nacht en in de ochtend vol laten verwarmen, of de ketel 's nachts op een laag niveau continu te laten verwarmen. Bij een slecht geïsoleerde woning is 's nachts uitzetten in ieder geval altijd voordeliger. Een ander mogelijk probleem is dat bij gebruik van kleine radiatoren: bij volvermogen van de ketel kan het retourwater nog een temperatuur boven de dauwpunttemperatuur hebben waardoor de efficiëntie van een condenserende ketel (HR) daalt. Het lijkt dus beter om radiatoren te gebruiken met een relatief groot oppervlak. Uit het oogpunt van investeringskosten wordt echter meestal gekozen voor zo klein mogelijke radiatoren. Ook kan verandering van de regelsoftware, zoals dag-nacht-instellingen en opwarmsnelheden een bijdrage leveren aan de vermindering van het energieverbruik. Ten slotte wordt ook het elektriciteitsverbruik door de pomp, ventilator en regelelektronica niet meegenomen in de testprocedure. Doordat er geen gestandaardiseerde testprocedure is, is een goede technische vergelijking tussen ketels geproduceerd in de verschillende landen niet mogelijk. Er bestaan nu ongeveer 30 tot 40 verschillende testprotocollen. Er is een Europese richtlijn over de efficiëntie van ketels, (BED, 92/42/EG) uit 1992. Deze richtlijn dringt echter de verkoop van inefficiënte ketels onvoldoende terug en zal vervangen worden door de richtlijn 2005/32/EG. In deze richtlijn zijn limietwaarden gesteld aan de NO_x- en CO-emissies, welke alleen verplicht gesteld zijn in Italië. Nederland heeft strengere emissie-eisen gesteld, de meeste landen in de EU hebben echter geen NO_x- en CO-emissie-eisen voor ketels.

Het ligt in de verwachting dat de Ecodesign richtlijn voor gas- en olie gestookte ketels van kracht wordt in 2013. Voor deze Ecodesign richtlijn zijn de volgende voorstellen gedaan voor gas- en oliegestookte ketels (Kemna, 2007), (VHK, 2007):

- Het specifieke rendement van ketels met een vermogen van minder dan 70 kW moet 56% zijn vanaf 2011 en 75% vanaf 2013⁶.
- Voor ketels met een vermogen van meer dan 70 kW en minder dan 400 kW moet het specifieke rendement 56% zijn vanaf 2011 en 96% vanaf 2013⁵.
- De maximum NO_x-emissie mag niet meer dan 20 ppm zijn vanaf 2013.

Deze laatste eis geldt na aftrek van de NO_x-emissie veroorzaakt door de stikstof in de brandstof (VHK, 2008). De Commissie werkt momenteel nog aan deze voorstellen; de verwachting was dat deze in het eerste kwartaal van 2010 zou worden besproken en daarna vastgesteld zou wor-

⁶ Het rendement is gebaseerd op de bovenste stookwaarde (Gross caloric value). Een rendement van 96% op bovenwaarde komt overeen met een ketel van de klasse HR107.

den. Medio 2010 blijkt dit inmiddels te zijn vertraagd. Ook zijn de voorstellen voor houtgestookte ketels in voorbereiding, echter hiervan zijn nog geen waarden gepubliceerd (SenterNovem, 2009).

In het werkdocument van juni 2009 (EU, 2009) zijn de emissievoorstellen gelimiteerd tot ketels met een nominaal vermogen kleiner dan 400 kW. Na de consultatieronde met de stakeholders zijn de emissie-eisen voor NO_x verhoogd van 20 ppm (41 mg/Nm³) naar circa 25 ppm (50 mg/Nm³) voor gasgestookte ketels. Voor oliegestookte ketels werd uitgegaan van 20 ppm met daarbovenop een stikstofcorrectie (samen circa 40 ppm) en is dit nu verhoogd tot 51 ppm (102 mg/Nm³), zie Tabel 2.6 (VHK, 2007).

Tabel 2.6 *Voorstel emissie-eisen in de Eco design richtlijn voor 2013*

Brandstof	NO _x -emissie [mg/kWh]	NO _x -emissie [g/GJ]	NO _x -emissie [mg/Nm ³] bij 3% O ₂
Gas	50	14	50
Gas micro WKK	50+50=100	28	50
Olie	105	29	102
Olie micro WKK	105+75=180	50	174

De efficiëntie-eisen bij gebruik onder normale condities zijn:

Tabel 2.7 *Efficiëntie eisen voor olie en gasgestookte ketels in de Ecodesign richtlijn*

Nominaal vermogen	Minimale efficiëntie ⁷ [%]	Datum
≤10 kW	56	1-1-2011
	64	1-1-2013
>10 kW ≤70 kW	56	1-1-2011
	75	1-1-2013
>70 kW ≤400 kW	88 vollast	
	96 op 30% deellast	

De efficiëntie eisen uit de Ecodesign richtlijn liggen lager dan de efficiëntie eisen in het Besluit rendementseisen CV-ketels. Alleen de efficiëntie-eis voor ketels met een nominaal vermogen groter dan 70 kW welke gebruikt wordt in deellast ligt hoger.

Inmiddels is ook een traject opgestart voor vaste brandstof ketels tot 500 kW. (BIO Intelligence Service, 2009). Dit vooronderzoek gaat niet alleen over ketels maar ook over kachels en fornuizen om op te koken. Op deze richtlijn wordt nader ingegaan in Hoofdstuk 6.

⁷ Deze efficiënties zijn gebaseerd op de bovenste stookwaarde terwijl de efficiënties uit het besluit rendementseisen CV-ketels zijn gebaseerd op de onderste stookwaarde. Voor gasgestookte ketels is het rendement op de bovenwaarde ongeveer 11% lager dan het rendement op de onderste stookwaarde.

3. Gasgestookte ketels

3.1 Verschillende typen gasgestookte ketels

Er zijn verschillende typen CV/Combi-ketels beschikbaar:

- VR wat staat voor verbeterd rendement van ongeveer 83%.
- HR wat staat voor hoogrendement van ongeveer 96%⁷.
- Micro WKK levert naast warm water ook elektriciteit.

Er zijn verschillende labels waarmee gasketels gecategoriseerd worden:

- HR-label: HR100, HR104 en HR107; het getal is een maat voor het rendement.
- SV-label: Schone verbranding.
- NZ-label: Kan als naverwarmer van een zonneboiler worden gebruikt.
- HRe-label: Levert naast warmte ook elektriciteit.

Het rendement van een HR-ketel kan boven de honderd procent liggen omdat de rookgassen hun warmte uitwisselen met het aangevoerde koude water en dit zo voorverwarmen⁸. De meeste warmte van de rookgassen ligt opgeslagen in de waterdamp⁹, om deze energie terug te winnen moet de temperatuur van het aangevoerde water onder de 58,6 °C (het dauwpunt) liggen.

Op plekken met een grotere warmtevraag, zoals bij blokverwarming, kantoren of verzorgingste-huizen worden vaak meerdere ketels geplaatst. Dit kan de energie-efficiëntie verbeteren en de gevolgen van storingen verminderen. Omdat er vaak grotere aantallen van gemaakt worden hoeft dit (meerdere kleine ketels in plaats van één grote) financieel niet direct ongunstig te zijn en ook is het onderhoud vaak simpeler te organiseren. Inmiddels zijn er zelfs regelingen beschikbaar om met 4 tot 10 ketels van 100 kW en warmtevraag van 0,4 tot 1 MW_{th} te dekken.

3.2 Emissies en emissie-eisen gasgestookte ketels

3.2.1 Besluit typekeuring CV-ketels

In Tabel 3.1 staan de NO_x-emissie-eisen vermeld in het Besluit typekeuring CV-ketels voor alle ketels die vloeibare of gasvormige brandstoffen gebruiken. De eisen gelden tot een vermogen van 900 kW en gelden ook voor luchtverwarmers. Met de invoering van BEMS is, in een gelijk-tijdige wijziging het onderdeel typekeur vervallen, maar blijven de eisen wel bestaan.

Tabel 3.1 *Besluit typekeuring CV-ketels NO_x-emissie-eisen bij 3% O₂.*

	Gemiddeld [mg/Nm ³]	Maximaal [mg/Nm ³]
Atmosferische branders	157	210
Ventilator branders	105	140
Voorgemengde branders	70	90

⁸ Het rendement gebaseerd op de onderste stookwaarde ligt ongeveer 11% hoger dan het rendement gebaseerd op de bovenste stookwaarde. Het rendement van een HR107 ketel is op bovenwaarde dus 96%.

⁹ Het theoretisch maximale rendement is, rekening houdend met de condensatiewarmte 111%.

3.2.2 Stand van zaken Ecodesign richtlijn

Binnen de EU wordt in het kader van de Ecodesign richtlijn gewerkt aan emissie-eisen. Na de eerste consultatieronde met de stakeholders zijn in het werkdocument van juni 2009 de emissie-eisen voor NO_x verhoogd van 20 ppm (VHK, 2007) naar circa 25 ppm (50 mg/Nm³ bij 3% zuurstof). In de discussie over de Ecodesign richtlijn wordt nu voorgesteld om voor olie- en gasgestookte ketels tot 400 kW eisen te formuleren, zie Tabel 3.2. Voor micro WKK wordt gedacht aan een norm die meer emissie toelaat met als argument dat dit ook de (relatief hoge) emissie in de elektriciteitssector reduceert.

Tabel 3.2 *Voorstel emissie-eisen in de Eco design richtlijn voor 2013 ketels <400 kW*

Brandstof	NO _x -emissie [ppm] bij 0% O ₂	NO _x -emissie [mg/Nm ³] bij 3% O ₂	NO _x -emissie [g/GJ]	NO _x -emissie [mg/kWh]
Gas eerste insteek	(20)	(40)		
Gas	Circa 25	50	14	50
Gas micro WKK	Circa 50	100	28	100

Het precieze meetregime is uit de stukken nog niet duidelijk op te maken en het maakt uit of het hier om een gemiddelde of een maximale emissie gaat. In het concept wordt voor opgaven van fabrikanten wel gesproken over NO_x-emissies bij het hoogste belastingprofiel. Verder wordt er voor de NO_x-metingen naar EN-normen verwezen, bijvoorbeeld voor gasstook naar EN 483 - EN 656.

3.2.3 Keurmerk Schone verbranding

Het keurmerk schone verbranding (SV-label) is binnen Nederland een vrijwillige norm voor NO_x- en CO-emissies voor ketels. Er wordt voor aardgasgestookte volledig voorgemengde branders, ventilatorbranders en volledig atmosferische branders geen onderscheid gemaakt voor het verkrijgen van het SV-label. De SV-norm staat in Tabel 3.3 (Gaskeur, 2001). Het SV-label komt overeen met de eis voor voorgemengde branders uit het Besluit typekeuring CV-ketels voor NO_x, echter het SV-label heeft een aanvullende eis voor de CO-emissie.

Tabel 3.3 *SV-label norm in verschillende eenheden*

Component	[ppm] bij 0% O ₂	[mg/Nm ³] bij 3% O ₂	[g/GJ]
NO _x	40	70	20
CO	160	200	56

Er zijn in Nederland voldoende VR-ketels op de markt die aan het SV-label voldoen, terwijl de wettelijke eis uit het typekeur voor dit type ketels op 157 mg/Nm³ ligt.

3.2.4 Duitse eisen aan gasketels

In Tabel 3.4 staan de voorgenomen richtlijnen voor NO_x-emissie-eisen in Duitsland voor installaties die nieuw op de markt komen in 2015. Door een typekeur wordt gekeken of de ketels aan de eisen voldoen. Er is geen jaarlijks controle, bijvoorbeeld tijdens het schoorsteenonderhoud (Kemna, 2007).

Tabel 3.4 *Voorgenomen emissie-eisen voor aardgasverbranding in Duitsland 2015*

Brandstof	Installatie [kW]	NO _x [mg/kWh]	NO _x [mg/Nm ³] bij 3% O ₂
Aardgas	<120	60	60
Aardgas	120 - 400	80	80
Aardgas	>400	120	120

Een apart vermelding verdienen de eisen die gesteld worden in Hamburg voor het verkrijgen van subsidie voor thermische zonne-energieprojecten waarbij tevens ook de verwarming energie-efficiënt gemaakt wordt. De rendementseis die hierbij aan de gasgestookte ketel gesteld wordt is 105%. De eisen die hierbij aan de emissies gesteld worden staan in Tabel 3.5. Voor installaties groter 60 kW worden de emissie per installatie bekeken (Hamburg, 2009).

Tabel 3.5 *Emissie-eisen bij subsidieverlening zon-thermische projecten in Hamburg*

Meetmethode	NO _x [mg/kWh]	NO _x [mg/Nm ³] bij 3% O ₂	CO [mg/kWh]	CO [mg/Nm ³] bij 3% O ₂
DIN 4702 Teil 8	20	20	15	15
DIN EN 483	40	40	30	30

3.2.5 Het Duitse Blaue Engel label

Sinds 1978 bestaat er in Duitsland het ‘Blaue Engel’ milieukeur. De eisen die hierbij gesteld worden voor gasketels staan in Tabel 3.6 (RAL, 2006a).

Tabel 3.6 *Emissie-eisen voor Blaue Engel label bij gasketels*

	NO _x [mg/kWh]	NO _x [mg/Nm ³] bij 3% O ₂	CO [mg/kWh]	CO [mg/Nm ³] bij 3% O ₂
Gasstook	70	70	60	60

3.2.6 Belgische eisen aan gasketels

Volgens een rapport van VITO over de glastuinbouw zijn bij Koninklijk Besluit (KB) van 8 januari 2004 (België, 2004) voor centrale verwarmingsketels en branders met een capaciteit <400 kW_{th}, NO_x- en CO-emissieniveaus opgelegd. Deze emissie-eisen gelden voor elke nieuwe brander bestemd voor de uitrusting van een ketel; zie Tabel 3.7. Fabrikanten trekken deze eisen vaak ook door naar hogere vermogens, zie (Derden, 2005).

Tabel 3.7 *Emissie-eisen voor aardgasverbranding <400 kW in België*

Brandstof	NO _x [mg/kWh]	NO _x [mg/Nm ³] bij 3% O ₂	CO [mg/kWh]	CO [mg/Nm ³] bij 3% O ₂
Ventilatorbrander	120	120	110	110

In het VITO-rapport wordt eveneens aangegeven dat emissies van 70 - 80 mg/Nm³ haalbaar zijn voor aardgasinstallaties. Er zijn ook installaties die een emissie lager dan 70 mg/Nm³ hebben. Deze zijn gemiddeld 15 tot 20% duurder (hierbij wordt verwezen naar installaties >2 MW_{th}).

3.2.7 Britse eisen aan gasketels

In Groot-Brittannië wordt alleen een eis gesteld aan de efficiëntie van de gasgestookte ketel en niet aan de NO_x-emissie. In 2005 is wetgeving aangenomen waarin gesteld wordt dat de mini-

male efficiëntie van gasgestookte ketels 86%¹⁰ moet zijn. Deze wetgeving heeft ertoe geleid dat het aandeel HR-ketels, overeenkomend met de Nederlandse HR100 klasse, in de nieuw verkoop in 2005 is gestegen van 23 naar 85% (tussen april en september 2005) (VHK, 2007).

3.2.8 Emissies van ketels op de markt

In Tabel 3.8 staan de emissies van enkele moderne gasgestookte ketels zoals opgegeven door de fabrikanten.

De Nefit Ecomline HRC23V wordt al sinds 2002 verkocht en heeft een NO_x-emissie die ruimschoots aan de eisen uit het besluit type goedkeuring voldoet. Deze ketel zal ook voldoen aan de voorgestelde eis van 50 mg NO_x/Nm³ in het laatste concept voor de Ecodesign richtlijn. Een studie van Gastec laat zien dat de NO_x-emissie van nieuw verkochte CV-ketels in 2006 al rond de 40 mg/Nm³ lag (Gastec, 2007).

De Itho en Weishaupt ketels zijn voorbeelden van de modernste ketels die beschikbaar zijn anno 2009, deze ketels hebben een NO_x-emissie die ruimschoots voldoet aan de NO_x-emissie-eis uit de Ecodesign richtlijn van 50 mg/Nm³.

Tabel 3.8 *Emissie enkele typen CV-ketels bij 3% O₂*

Merk	Type	Vermogen [kW]	NO _x [mg/kWh]	NO _x [mg/Nm ³]	CO [mg/kWh]	CO [mg/Nm ³]
Remeha Celenta 28C	HR 107	25,5	43	43		
Nefit Ecomline HRC23V	HR 107	23	49	49	54	54
Intergas G32VRW	VR	32	140	138		
Itho HR24-42 CW4-6 ¹¹	HR 107	24-42	15	15	20	20
Weishaupt Thermo Con- dens WTC 45-A ¹²	(HR 107)	43	38	38	16	16
Weishaupt Thermo Con- dens WTC 25A	HR 107	25	16	16	9	9

VR-ketels hebben meestal atmosferische branders en moeten nu dus nog aan de 157 mg/Nm³ voldoen in het Besluit typekeuring CV-ketels (VROM, 1995). Echter in de Ecodesign richtlijn wordt geen onderscheid meer gemaakt tussen atmosferische branders en volledig voorgemengde branders. De emissie-eis voor gasgestookte ketelinstallaties voor NO_x van 50 mg/Nm³ bij 3% zuurstof komt overeen met ongeveer 50 mg NO_x per kWh. Deze eis lijkt te laag voor de huidige VR-ketels. Dit zal betekenen dat de oudere types VR-ketels niet meer verkocht mogen worden. Er zijn echter al wel VR-ketels op de markt die aan het SV label, een NO_x-emissie norm van 70 mg/Nm³, kunnen voldoen.

Bij het gebruik van gemeenschappelijke rookkanalen kan een probleem ontstaan wanneer hier een HR-ketel op wordt aangesloten. Bij een atmosferische ketel (VR) stijgt het warme rookgas op door middel van natuurlijke trek. Echter, voorgemengde HR-ketels produceren rookgas met een lagere temperatuur en dus met een veel lagere natuurlijke trek. Hierdoor wordt voor HR-ketels een ventilator gebruikt om voldoende doorstroming te garanderen. De ventilator kan de trek van mogelijke VR-ketels die op hetzelfde rookkanaal zijn kan beïnvloeden.

De huidige NO_x-emissies van moderne HR gasketels zijn al zeer laag en er moet dus voor ge-
waakt worden dat door een relatief hoge emissienorm er geen gasketels met relatief hoge NO_x-

¹⁰ Gebaseerd op de bovenste stookwaarde.

¹¹ <http://www.itho.nl/content/1/techndocklimax2070905.PDF>.

¹² <http://www.weishaupt.be/local/documentBase/nl/188-NLB-04-06.pdf>.

emissies op de Nederlandse markt verkocht gaan worden, voordat de Ecodesign richtlijn van kracht wordt.

3.2.9 Emissie overzicht keuringsgegevens.

In 2007 is een overzicht gemaakt van de emissies van 116 gasgestookte installaties kleiner dan 100 kW (de meeste woningen zitten beneden de 50 kW) en 26 groter dan 100 kW. Het gaat om installaties die tussen 2002 en 2006 voor een keuring zijn aangeboden en waarvan de fabrikant aangegeven heeft dat deze gegevens (anoniem) verwerkt mogen worden (Gastec, 2007). Het betreft een deel van het aanbod. In Tabel 3.9 is hiervan een overzicht gemaakt. Van alle installaties <100 kW voldoet 38% aan het Ecodesign voorstel van 50 mg/Nm³ en van de installaties >100 kW voldoet 27%. Zou niet naar de maximale emissie gekeken worden, maar naar de gemiddelde dan neemt dit percentage toe. Wordt in meer detail hierna gekeken dan blijken vooral CV-ketels aan de normen van de Ecodesign richtlijn te voldoen.

In dit overzicht zijn ook luchtverwarmers opgenomen, het verschil met ketels is dat luchtverwarmers de lucht direct verwarmen terwijl ketels dit indirect doen via het verwarmen van water. Van de 21 luchtverwarmers zijn er twee die voldoen en van de 15 ventilatorbranders (vullast) nul. De reden hiervan is dat in CV-ketels al vaak volledig voorgemengde branders gebruikt worden, die intrinsiek lagere emissies hebben. Luchtverwarmers en ventilatorbranders gebruiken deze techniek blijkbaar nog nauwelijks. Om aan de eisen te voldoen zouden deze fabrikanten hun product aan moeten passen.

Tabel 3.9 *Aantal installaties ingedeeld naar gemiddelde en maximale emissie*

Emissie per Nm ³ bij 3% O ₂	Gasgestookt kleiner dan 100 kW				Gasgestookt groter dan 100 kW			
	gemiddelde emissie		maximale emissie		gemiddelde emissie		maximale emissie	
Alle								
<40 mg	43	37%	16	14%	6	23%	6	23%
<50 mg	67	58%	44	38%	9	35%	7	27%
<70 mg	102	88%	77	66%	21	81%	17	65%
>70 mg	14	12%	39	34%	5	19%	9	35%
CV-ketel								
<40 mg	37	46%	16	20%	6	60%	6	60%
<50 mg	53	65%	39	48%	8	80%	6	60%
<70 mg	73	90%	59	73%	10	100%	9	90%
>70 mg	8	10%	22	27%	0	0%	1	10%
Luchtverwarmer								
<40 mg	1	6%	0	0%	1	25%	1	25%
<50 mg	6	35%	1	6%	1	25%	1	25%
<70 mg	11	65%	6	35%	1	25%	1	25%
>70 mg	6	35%	11	65%	3	75%	3	75%
Ventilatorbrander								
<40 mg	2	33%	0	0%	0	0%	0	0%
<50 mg	5	83%	0	0%	0	0%	0	0%
<70 mg	6	100%	3	50%	7	78%	4	44%
>70 mg	0	0%	3	50%	2	22%	5	56%

3.2.10 Totaal beeld emissies en eisen gasgestookte ketels

In Tabel 3.10 is een overzicht opgenomen van de diverse emissie-eisen uit de voorgaande paragrafen. Het ligt in de verwachting dat de Ecodesign richtlijn van kracht wordt in 2013. Deze richtlijn stelt een NO_x-emissie-eis van 50 mg/kWh (50 mg/Nm³ bij 3% O₂) voor ketels met een

nominaal vermogen van minder dan 400 kW. BEMS stelt een emissie eis van 70 mg/Nm³ voor installaties groter dan 1 MW.

Voor installaties >400 kW en <1 MW zou Nederland wellicht dan zelf eisen kunnen formuleren. Deze zouden dan tussen de 50 en 70 mg/Nm³ kunnen liggen. Met een ruime marge gaat het om circa 30.000 ketels, vooral in de HDO sector, maar ook een klein deel in de glastuinbouw en de industrie. Het aantal ketels per sector staat in Tabel 2.4. en Tabel 2.5; op basis van het achterliggende materiaal is het hier genoemde aantal ingeschat. Er is met name ook onzekerheid omdat ook vaak een combinatie van kleinere ketels gekozen wordt voor de warmtevraag. Een bovengrens voor het energieverbruik van deze 30.000 ketels is circa 80 PJ. Het verschil in NO_x-emissie tussen 50 en 70 mg/Nm³ eis komt overeen met ongeveer 6 gram/GJ. Het verschil in NO_x-uitstoot tussen de twee eisen is dus maximaal 0,5 kton, ongeveer 4% (onzekerheidsmarge 2% tot 6%) van de totale NO_x-emissie in de sector HDO.

Tabel 3.10 Totaal overzicht emissie-eisen gasketels

Emissies in [mg/Nm ³ bij 3% O ₂]	NO _x	SO ₂	PM	CO
Typekeuring CV-ketels: Atmosferische branders	157 (max 210)			
Typekeuring CV-ketels: Ventilator branders	105 max 140)			
Typekeuring CV-ketels: Voorgemengde branders	70 (max 90)			
SV-label tot 900 kW	70			198
BEMS-waarde >1 MW _{th}	70	200		
Ecodesign richtlijn uit voorstudie	40			
Ecodesign richtlijn (nu in discussie) tot 400 kW	50			
Ecodesign richtlijn micro WKK (nu in discussie)	100			
Duitsland in 2015 <120 kW	60			
Duitsland in 2015 120-400 kW	80			
Duitsland in 2015 >400 kW	120			
Emissie-eisen België <400 kW (2004)	120			110
Hamburg Eco-Mark (norm voor subsidie)	20/40			15/30
Blauwe Engel (steady state) label	70			60

Het niet duidelijk hoeveel van de huidige gasgestookte ketels met een nominaal vermogen tussen de 400 kW en 1 MW al een uitstoot lager dan 70 mg/Nm³ hebben. Een mogelijkheid, waar al de nodige ervaring mee is, is het gebruik van keramische branders om deze lage emissies te halen, de meerkosten hiervan zijn vermeld in Paragraaf 3.3.

3.3 Best Beschikbare technieken

Keramische branders

Keramische branders geven een lagere NO_x-emissie, de meerkosten bedragen bij kleine CV-ketels ongeveer € 40 per ketel. Bij de grotere ketels van 400-1000 kW worden de branders naar schatting 30% duurder wat neerkomt op € 1000 tot € 3000 per ketel. De stijging van totale ketelprijs is in de orde van 6%. Keramische branders zijn in staat om de NO_x-emissies beneden de 35 mg/Nm³ te houden (Dreizler, 2009). Hoewel het niet om grote aantallen gaat, zijn er al wel ketels waar deze brander al 15 jaar gebruikt wordt. Ook andere constructies van voorgemengde branders halen dit soort lage waarden. Verwacht mag worden dat bij productie in grote aantallen de kosten gaan dalen.

Katalytische branders

Door een katalysator te gebruiken, meestal Rhodium of Platina ingebed in een keramische plaat, kan de vlamtemperatuur verlaagd worden en daarmee de NO_x-emissie. Er is op dit moment één aanbieder van een 1 MW_{th} katalytische brander, Kawasaki, die een NO_x-emissie beneden de 3 ppm (6 mg/Nm³) heeft. Door het gebruik van Rhodium en Platina kan de kostprijs van een 25 kW installaties verdubbelen.

Zonneboilers

Een mogelijkheid om de NO_x-emissie te verlagen is door aan een gedeelte van de warmtevraag te voldoen met behulp van zonneboilers. In het bouwbesluit is vanaf 1 januari 2006 de verplichte Energy Performance Coëfficiënt (EPC) norm verlaagd tot 0,8. Deze waarde is een maat voor de maximaal toegestane energiebehoefte van een nieuw te bouwen woning. De waarde van 0,8 blijkt een niet makkelijk realiseerbare waarde te zijn waardoor de meeste bouwbedrijven kiezen voor een HR-107 cv-ketel. De HR-107 ketels leveren al een bijdrage van 0,6 tot 0,75 aan de EPC-waarde. SenterNovem heeft een applicatie ontwikkeld om de EPC-waarde van een nieuwbouwwoning te berekenen. In voorbeeldberekeningen van SenterNovem worden combinaties genomen van HR-ketels met zonneboilers om aan de EPC-norm te voldoen. Er bestaan echter nog geen EPC-waarden voor houtgestookte ketels. Per 1 januari 2011 wordt de EPC aangescherpt naar 0,6. Voor nieuwbouw in de utiliteitssector is de EPC-waarde minder strikt, de EPC-norm in de utiliteitssector is:

- Bijeenkomstgebouw 2,0.
- Kantoren 1,1.
- Onderwijs 1,3.
- Winkels 2,6.

Het is niet duidelijk of deze EPC-eisen in de utiliteitssector ook leiden tot exclusief gebruik van HR-ketels in de nieuwbouw.

Met behulp van de applicatie die door SenterNovem is ontwikkeld om bouwbedrijven te helpen om aan de EPC-voorwaarden te voldoen zijn de kosten voor zonneboilers en warmtepompen berekend en weergegeven in Tabel 3.11.

Tabel 3.11 *Extra kosten EPC-vermindering*

Maatregel	Extra kosten incl BTW [€]	EPC-vermindering	Kosten per % EPC-vermindering
Zonneboiler 2.8 m ²	2737	0,11	248
Zonneboiler 5.6 m ²	5423	0,20	271
HR107 + warmtepomp	3392	0,04	848
HR++ glas	257	0,02	129

De meerkosten voor systemen zoals zonneboilers en warmtepompen komen hoog uit in deze berekening en zullen waarschijnlijk dus nog niet grootschalig geïmplementeerd worden in huidige nieuwbouw projecten.

DeNO_x katalysator

Momenteel wordt in nationale laboratoria en universiteiten onderzoek gedaan naar NO_x-adsorptie katalysatoren, voornamelijk voor gebruik in de automobiel industrie, voor lean-burn benzine- en aardgasvoertuigen. Deze systemen maken gebruik van alkali -of aardalkalimetalen ingebed in een zeoliet. Deze alkali- en aardalkalimetalen adsorberen de NO_x en zetten deze om in stikstof en zuurstof.

Er kleven echter twee nadelen aan dit type katalysator:

1. Deze katalysatoren moeten geregenereerd worden, dit gebeurt door waterstofinjectie welke door reforming uit de brandstof verkregen moet worden¹³.
2. Zonder regeneratiestap is de NO_x conversie efficiëntie sterk afhankelijk van de rookgas temperatuur, alleen rond de 200 graden is de efficiëntie 90%, als de temperatuur 50 graden hoger of lager is, zakt de efficiency al naar 50%.

¹³ Reforming is het omzetten van koolwaterstoffen (brandstof) in waterstof en CO₂.

De rookgastemperatuur van een HR-ketel is laag door het gebruik van condensatiewarmte terugwinning, ongeveer 57 °C. Hierdoor is actieve regeneratie van de DeNO_x-katalysator noodzakelijk, wat het systeem erg duur maakt.

De ontwikkeling van deze DeNO_x-katalysatoren is echter nog in de R&D-fase en op dit moment is het nog onduidelijk of deze techniek toegepast kan gaan worden voor (gasgestookte) ketels.

3.4 Kosten gasgestookte ketels

Er zijn verschillende typen CV-ketels beschikbaar met verschillende nominale vermogens. Dit nominale vermogen is meestal direct gerelateerd aan de CW-waarde. De CW-waarde is de warmte comfort index, een maat voor de snelheid waarmee warm tapwater geproduceerd kan worden. Een HR-combiketel van Valliant met een nominaal vermogen van 18 kW CW3 kost ongeveer € 1.490 inclusief BTW, een ketel met een nominaal vermogen van 34 kW met CW6 kost ongeveer € 2.360¹⁴. Deze ketels hebben een NO_x-emissie rond de 50 mg/Nm³ en kunnen dus aan de laatste voorstellen van de Ecodesign richtlijn voldoen.

Een VR-ketel met een nominaal vermogen van 25 kW van Valliant CW3 kost € 1.370. Een vergelijkbare HR-ketel kost € 1.450, ongeveer € 83 meer. De lage NO_x-ketels van Itho, met een emissie van ongeveer 15 mg/kWh, kosten ongeveer € 1.070 voor de versie met een nominaal vermogen van 24 kW, CW4 tot € 1.600 voor de versie met een nominaal vermogen van 42 kW CW6. De hier weergegeven kosten voor een HR-ketel zijn enkel de aanschafkosten, hierbij moeten de additionele kosten voor installatie nog opgeteld worden.

De Weishaupt (Thermo Condens WTC 25 A) lage NO_x-ketel kost in Duitsland € 3.850. Het is onduidelijk of dit inclusief installatiekosten is. In voorbeeld berekeningen van CV-ketel leveranciers wordt er vanuit gegaan dat een HR-ketel, inclusief installatiekosten ongeveer € 1.000 duurder is dan een VR-ketel. De terugverdientijd, doordat de HR-ketel minder energie verbruikt, ligt dan tussen de 4 en 6,5 jaar (Verwarmingswijzer, 2009). Per saldo kan hieruit geconcludeerd worden dat het prijsverschil tussen een VR-ketel (met gemiddeld een hogere NO_x-emissie) en een HR-ketel (met gemiddeld een lagere emissie) op de Nederlandse markt maar beperkt is. Indien een emissie-eis tot de verkoop van minder VR en meer HR-ketels zal leiden, zal dit dus maar tot beperkte extra kosten leiden. Aan het plaatsen van een HR-ketel zijn wel de nodige kosten verbonden (luchtaanvoer/rookgasafvoer en waterafvoer). Indien de warmtevraag voldoende groot is, wordt de investering bij de huidige prijzen uit de gasbesparing terugverdiend.

¹⁴ Het gaat hier om even de orde van grootte aan te geven via enkele willekeurig gekozen CV-ketels. Het aanbod van ketels is veel groter dan de in dit rapport opgenomen voorbeelden. De prijzen voor dit soort producten kunnen in de tijd en per leverancier variëren.

4. Olie- en LPG gestookte ketels

4.1 Verschillende typen oliegestookte ketels

Omdat in Nederland veel woningen en bedrijven een aardgasaansluiting hebben is het aantal olieketels veel lager dan in de ons omringende landen. Er zijn twee gebruikelijke combinaties. Bij de eerste is er sprake van een verwarming op huisbrandolie in combinatie met het koken op elektriciteit of flessengas. In de tweede combinatie is er een LPG-tank die zowel voor de verwarming als voor koken gebruikt kan worden. Bij de grotere stookinstallaties op het platteland, bijvoorbeeld varkenshouderijen, vormen de energiekosten een aanzienlijke kostenpost. In deze situaties worden ook andere brandstoffen als kolen of hout gebruikt. Met name het gebruik van hout als brandstof lijkt in deze sector toe te nemen.

In principe is ook bij een olieketel het HR-principe toepasbaar. De dauwpunttemperatuur ligt hierbij wel lager dan bij aardgas (47 °C bij stookolie in plaats van de 57 °C van aardgas); wat betekent dat het retourwater uit de CV-ketel een lagere temperatuur moet hebben om de condensatiewarmte te winnen. Ook is de potentiële energiewinst minder. Is de condensatie-energie bij aardgas 11% ten opzichte van de verbrandingswaarde; bij olie is dit 6%¹⁵. Per saldo kan vooral in situaties waarin de warmtevraag niet al te groot is (lage retourtemperatuur) toch een rendement boven de 100% gerealiseerd worden. Probleem is wel het zwavelgehalte van de huisbrandolie. Dit kan corrosie veroorzaken. Vandaar dat de delen van de ketel die het condensatiewater in aanraking komen van speciaal materiaal gemaakt moeten worden (bijvoorbeeld roestvrijstaal). Bij het huidige Nederlandse maximum van de 1000 ppm zwavel (0,1%) kan het noodzakelijk zijn om het afvalwater dat hier ontstaat eerst te neutraliseren voordat het afgevoerd kan worden (Viessman, 2006). In Duitsland wordt gewerkt aan de overgang naar huisbrandolie met minder dan 50 ppm zwavel. Bij 50 ppm zwavel zijn er veel minder corrosieproblemen en is neutralisatie niet nodig. In principe laat het besluit zwavelgehalte brandstoffen ruimte om in Nederland ook nog hoogzwavelige oliesoorten te gebruiken; voor zware stookolie geldt bijvoorbeeld nog een maximum zwavelgehalte van 1% (V&M, 1974).

Een belangrijk verschil met gasketels is dat bij olieketels veel vaker de brander los van de ketel verkocht wordt. Ook is bij gasbranders de Nederlandse markt relatief groot terwijl bij producenten van oliebranders de afzet op de Nederlandse markt nauwelijks een rol speelt.

4.2 Emissies en emissie-eisen oliegestookte ketels

4.2.1 Besluit typekeuring CV-ketels

Tabel 4.1 *Besluit typekeuring CV-ketels NO_x-emissie-eisen bij 3% O₂.*

	Gemiddeld [mg/Nm ³]	Maximaal [mg/Nm ³]
Atmosferische branders	157	210
Ventilator branders	105	140
Voorgemengde branders	70	90

In Tabel 4.1 staan de NO_x-emissie-eisen zoals vermeld in het Besluit typekeuring CV-ketels voor alle ketels die vloeibare of gasvormige brandstoffen gebruiken. De eisen gelden tot een

¹⁵ LPG ligt met 8 tot 9% tussen aardgas en huisbrandolie in.

vermogen van 900 kW en gelden ook voor luchtverwarmers. Bij stookolie zijn er geen voorge-mengde branders en zijn ventilatorbranders het meest gebruikelijk. Bij LPG is het volledig voorge-mengde principe wel mogelijk¹⁶.

4.2.2 Stand van zaken Ecodesign richtlijn

In de studie voor de Ecodesign richtlijn (eerste insteek) is voor oliegestookte ketels een emissie-eis van 20 ppm¹⁷ (41 mg NO_x/Nm³ bij 3% O₂) met correctie voor het stikstofgehalte van de olie voorgesteld (VHK, 2007). Per saldo komt dit voor huisbrandolie, bij een stikstofgehalte van 140 mg/kg brandstof, neer op circa 40 ppm (70 mg/Nm³ bij 3% O₂). Echter na de stakeholders vergadering is de emissie-eis verhoogd naar 105 mg/kWh (102 mg/Nm³ bij 3% O₂). De genoemde ingangsdatum is 1 januari 2014.

De voorstudie van VHK noemt ook nog een categorie extra grote ketels (4XL; >350 kW met als voorbeeld een ketel van 750 kW), zie (Kemna, 2007) rapport Task 6. In het werkdocument van juni 2009 zijn deze emissievoorstellen gelimiteerd tot ketels met een nominaal vermogen kleiner dan 400 kW. De emissie-eisen staan in Tabel 4.2. Hierin staat ook de hogere waarde die voor WKK is voorgesteld. Het voorstel bevat geen eis voor olie die meer dan 10% biobrandstof bevat.

Tabel 4.2 *Voorstel emissie-eisen in de Ecodesign richtlijn voor 2014 ketels <400 kW*

Brandstof	NO _x -emissie [ppm] bij 3% O ₂	NO _x -emissie [mg/Nm ³] bij 3% O ₂
Olie eerste insteek	(20 N-vrij/40)	(circa 40 N-vrij/80)
Olie	51	102
Olie micro WKK	88	180

Oliegestookte ketels geven een hogere NO_x-emissie dan gas gestookte ketels 100 - 250 mg NO_x/Nm³ bij 0,3%N in de brandstof, zie Tabel 4.3. Ook is de PM₁₀-emissie van oliegestookte ketels met ongeveer 5 - 20 mg/Nm³ hoger dan gasgestookte ketels (Nussbaumer,2006). Stookolie met 150 mg/kg stikstof geeft een surplus ten opzichte van aardgas van ongeveer 47 mg/Nm³ NO_x (referentie 6% O₂). Koolzaadolie geeft een surplus ten opzichte van aardgas van ongeveer 20 mg/Nm³ NO_x, zie Tabel 4.3.

Tabel 4.3 *NO_x-emissies oliegestookte ketels*

Brandstof	Stikstof in brandstof [mg/kg]	NO _x -emissie [mg/Nm ³] bij 3% O ₂ .
Aardgas	0	96 (80 bij 6% O ₂)
Koolzaadolie	76	120 (100 bij 6% O ₂)
Stookolie	150	142 (127 bij 6% O ₂)

4.2.3 Toekomstige emissie-eisen in Duitsland

In Tabel 4.4 staan de voorgenomen richtlijnen voor NO_x-emissie-eisen in Duitsland voor nieuw verkochte oliegestookte installaties in 2015. Door een typekeur wordt gekeken of de ketels aan de eisen voldoen. Er is geen jaarlijks controle bijvoorbeeld tijdens het schoorsteenonderhoud (Kemna, 2007).

¹⁶ <http://www.installatietechnicus.nl/documentatie/stooktechniek.htm>.

¹⁷ Het rapport geeft niet aan wat precies het zuurstofgehalte is. Hier is 3% verondersteld.

Tabel 4.4 *Emissie-eisen voor lichte stookolie verbranding in Duitsland*

Installatie [kW]	NO _x [mg/kWh]	NO _x [mg/Nm ³] bij 3% O ₂ .
<120	110	106
120 - 400	120	116
>400	185	179

Een aparte vermelding verdienen de subsidie-eisen die gesteld worden in Hamburg voor thermische zonne-energieprojecten waarbij tevens ook de verwarming energie-efficiënt gemaakt wordt. De eisen die hierbij gesteld worden staan in Tabel 3.4. Voor installaties groter 60 kW worden de emissie per installatie bekeken (Hamburg, 2009).

Tabel 4.5 *Emissie-eisen bij subsidieverlening zon-thermische projecten in Hamburg*

Meet methode	NO _x [mg/kWh]	NO _x [mg/Nm ³] bij 3% O ₂	CO [mg/kWh]	CO [mg/Nm ³] bij 3% O ₂
DIN 4702 Teil 8	80	77	15	14,5

4.2.4 Duitse Blaue Engel label

Alle sinds 1978 bestaat er in Duitsland het 'Blaue Engel' milieukeur. De eisen die hierbij gesteld worden voor olieketels staan in Tabel 4.6 (RAL, 2006b). De eisen zijn gesteld in mg/kWh wat na omrekening vrijwel gelijk is aan mg/Nm³ bij 3% O₂.

Tabel 4.6 *Emissie-eisen voor Blaue Engel label bij oliestook*

	NO _x [mg/Nm ³] bij 3% O ₂	CO [mg/Nm ³] bij 3% O ₂	C _x H _y [mg/Nm ³] bij 3% O ₂	Roet
Oliestook	110	60	15	Roetgetal <0,5

4.2.5 Belgische eisen aan olieketels

Volgens een rapport van VITO over de glastuinbouw zijn bij Koninklijk Besluit (KB) van 8 januari 2004 (C - 2004/22051) voor centrale verwarmingsketels en branders met een capaciteit <400 kW_{th} NO_x- en CO-emissieniveaus opgelegd. Deze eisen gelden voor elke nieuwe brander bestemd voor de uitrusting van een ketel; zie Tabel 4.7. Fabrikanten trekken deze eisen vaak ook door naar hogere vermogens, zie (Derden, 2005).

Tabel 4.7 *Emissie-eisen en verlagingsoptie voor vloeibare brandstof <400 kW in België*

Brandstof	NO _x [mg/kWh]	NO _x [mg/Nm ³] bij 3% O ₂	CO [mg/kWh]	CO [mg/Nm ³] bij 3% O ₂
Olieverstuivingsbrander	185	185	110	110
Te koop in België	120	120		

Volgens het VITO rapport is door optimalisatie van brandstof - en luchttoevoer in de vlam en gebruik van de inerte werking van rookgassen een verlaging van de thermische NO_x-vorming mogelijk. Met deze nieuwe gasolie gestookte installaties is een verlaging van de NO_x-emissies naar minder dan 200 mg/Nm³ in de praktijk haalbaar. Er zijn reeds gasoliebranders op de markt waarmee waarden lager dan 120 mg NO_x/Nm³ haalbaar zijn. Deze zijn echter 15 tot 20% duurder.

4.2.6 Emissies van olietelers op de markt

Volgens het VITO rapport zijn er in België ketels (<400 kW) die aan 185 mg NO_x/Nm³ bij 3% O₂ voldoen (Derden, 2005). Volgens informatie van internet haalt de Viessmann RotriX brander een emissie van 67 mg NO_x/Nm³ bij 3% O₂ (60 mg/kWh) en 5 mg CO/Nm³ bij 3% O₂ (5 mg/kWh). Door Weishaupt wordt de 'Weishaupt purflam® brander'¹⁸ op de markt gebracht voor 16,5 tot 35 kW met emissies van 70 tot 90 mg/kWh (68-87 mg/Nm³ bij 3% O₂).

Tijdens onderzoek in Brookhaven National Laboratory (BNL,USA) is met een bestaande blauwe vlam ketel (Europees model), stikstofvrije brandstof, 10% rookgasrecirculatie en voorverwarming van de olie¹⁹ een emissie van 18 ppm NO_x gehaald (32 mg/Nm³ bij 3% O₂) (Butcher, 2003). Telt men bij de 18 ppm de 23 ppm op voor de 0,015% stikstof die normaal in de olie zit dan komt men op 41 ppm, dit is ruwweg gelijk aan de emissie-eis van 40 ppm (70 mg/Nm³ bij 3% O₂) uit van de Ecodesign voorstudie (VHK, 2007). Er zijn verschillende experimentele technieken mogelijk om nog lager te komen. Volgens dezelfde publicatie liggen de emissies in Europa met 50 tot 60 ppm (88-105 mg/Nm³ bij 3% O₂) beneden de in de USA geaccepteerde 120 ppm (Butcher, 2003).

4.2.7 Totaalbeeld emissies en eisen oliegestookte ketels

In Tabel 4.8 is een overzicht opgenomen van de diverse emissie-eisen uit de voorgaande paragrafen. Het ligt in de verwachting dat de Ecodesign richtlijn van kracht wordt in 2013. Deze richtlijn stelt een NO_x-emissie-eis voor van 105 mg/kWh ofwel circa 102 mg/Nm³ bij 3% O₂ voor ketels met een nominaal vermogen van minder dan 400 kW. Voor installaties >400 kW zou Nederland wellicht zelf eisen kunnen formuleren. Vaak wordt de SO₂-emissie beperkt door het maximale zwavelgehalte van brandstoffen. Desondanks kan ook een SO₂-emissie-eis nuttig zijn omdat niet alle brandstoffen hier automatisch onder vallen; bijvoorbeeld biogas en stortgas.

Tabel 4.8 *Totaal overzicht emissie-eisen huisbrandolie gestookte ketels*

Emissies in [mg/Nm ³ bij 3% O ₂]	NO _x	SO ₂	PM	CO
Typekeuring CV-ketels: Atmosferische branders	157 (max 210)			
Typekeuring CV-ketels: Ventilator branders	105 (max 140)			
BEMS-waarde >1 MW _{th}	120	200	5	
Ecodesign richtlijn (uit voorstudie)	Circa 80			
Ecodesign richtlijn <400 kW	102			
Ecodesign richtlijn micro WKK (nu in discussie)	174			
Duitsland in 2015 <120 kW	106			
Duitsland in 2015 120-400 kW	116			
Duitsland in 2015 >400 kW	179			
Emissie-eisen België <400 kW (2004)	185			120
Hamburg Eco-Mark (norm voor subsidie)	77			15
			roetgetal	
Blauwe Engel (steady state) label	116		0,5	60
België (ketel op de markt te koop)	120			
Viessmann RotriX brander	67			5
Weishaupt purflam® brander	68-87			
USA gemeten bij EU-keteltype N-vrije olie/gewone olie	32/70			<26
In Europa gebruikelijk (volgens USA bron)	88-105			

Noot: De Blauwe Engel schrijft ook nog een maximale eis van 15 g C_xH_y/Nm³ voor bij 3% O₂.

¹⁸ <http://www.weishaupt.be/local/documentBase/nl/15-NLB-02-07.pdf>

¹⁹ Voorverwarming van olie wordt overigens al in de praktijk toegepast om een goede verstuiving van de brandstof te krijgen.

4.3 Best beschikbare technieken

Bij het onderzoek van BNL is met een bestaande blauwe vlam ketel (Europees model), stikstofvrije brandstof, 10% rookgasrecirculatie (RGR) en voorverwarming van de olie een emissie van 18 ppm NO_x gehaald (37 mg/Nm³ bij 3% O₂). Bij 25% RGR zakte de emissie zelfs naar 10 ppm (en CO bleef beneden de 25 ppm). Telt men bij de 10 ppm de 23 ppm bij op voor 0,015% stikstof die normaal in de olie zit dan komt men bij de 33 ppm (58 mg/Nm³ bij 3% O₂). Er zijn volgens BNL verschillende experimentele technieken mogelijk om nog lager te komen. Met een keramische brander en een mengsel van verdampte stikstofvrije olie en lucht wordt 6 ppm bereikt. (Butcher, 2003). Bij zware stookolie is het bereiken van lage emissies moeilijker. Door toepassen van RGR (toevoeren van afgekoelde rookgassen bij de verbranding) kan de NO_x-emissie onderdrukt worden. De Impulse Ultra Low NO_x Gas Burner van Stork komt voor zware olie tot 150 mg/Nm³ (ECN, 2009). Dit is echter wel een brander voor grotere vermogens (>5 MW_{th}), maar wellicht dat er ook voor kleinere vermogens Low NO_x branders zijn.

In principe zou er met een optimale brander en voldoende vloeibare brandstof (de olie moet goed vernevelen) wat thermische NO_x (de NO_x die uit stikstof in de lucht ontstaat door de hoge vlamtemperatuur) betreft dezelfde niveaus als bij gas stook bereikt kunnen worden. Zoals in dit hoofdstuk al is aangegeven bevat olie ook stikstofhoudende componenten die los van de precieze verbrandingscondities gedeeltelijk in NO_x wordt omgezet (het zogenaamde brandstof NO_x). Een methode om in deze brandstof NO_x te reduceren is om deze af te breken nadat deze gevormd is. Het afbreken kan door in de verbrandingskamers twee ruimtes te creëren. Waarin de eerste ruimte er een tekort aan zuurstof heerst. In deze ruimte wordt de gevormde NO_x weer afgebroken²⁰. Dit vergt wel extra aandacht bij de materiaalkeuze in verband met corrosie. In de tweede ruimte wordt extra lucht toegevoerd waardoor de nog resterende verbranding plaatsvindt. Als deze zonering niet mogelijk is kan de NO_x nog verwijderd worden door een reductiemiddel toe te voegen. Dit is vaak een ureum oplossing die in het rookgas wordt gesproeid en hier wordt omgezet in het reductiemiddel ammoniak (NH₃). Het nadeel is dat er mogelijk NH₃-emissie plaats kan vinden. De afbraak van NO_x met NH₃ tot stikstof (N₂) en waterdamp kan in de verbrandingsruimte zonder katalysator via Selectieve niet katalytische reductie (SNCR) of met een katalysator in het rookgaskanaal (SCR). Bij huisbrandolie is het stikstofgehalte zo laag dat SCR en SNCR erg duur zijn en kan wellicht ook naar stikstofverwijdering van de olie worden overgegaan²¹. Bij zware stookolie, die veel meer stikstof bevat, en grotere vuurhaarden wordt al wel SCR toegepast.

4.4 Kosten oliegestookte ketels

Uit de Roca Galvina serie:

- Een 23,3 kW oliegestookte combi ketel²² kost € 1.950.
- Een 33,7 kW oliegestookte combi ketel kost € 2.090.

Om een indruk te krijgen van de kosten is gekeken naar de kosten bij 1 fabrikant. Een simpele (gele) oliebrander die <185 mg/kWh doet kost tussen de € 600 en € 750. Een (blauwe) brander oliebrander die <120 mg/kWh doet kost al gauw € 900²³. Een toename van de prijs voor de hele installatie met circa 10%.

²⁰ In sommige low-NO_x gasbranders wordt deze ondermaat aan zuurstof in de vlam zelf gecreëerd, waarbij ook eerder gevormde (thermische) NO_x kan worden afgebroken.

²¹ In de literatuur en dan met name patenten wordt bijvoorbeeld gesproken over 'Catalytic Hydrogenitrogenation'. Dit is geen gangbaar raffinaderij proces. In de literatuur wordt tevens gemeld dat bij het vergaand ontzwavelen van huisbrandolie ook (gedeeltelijk) stikstof verwijderd wordt. In het kader van dit rapport is hier geen nader onderzoek naar gedaan.

²² Prijs varieert ook met de uitvoering een gesloten rookgasafvoer is bijvoorbeeld duurder dan een open. Ook zal een kleine boiler de installatie duurder maken. Tenslotte zijn er soms nog losse onderdelen nodig, bijvoorbeeld voor plaatsing of aansluiting, die de ketel duurder maken.

²³ Bron Elco branders. Cijfers echter wel uit verschillende landen.

Het VITO-rapport (Derden, 2005) geeft voor lage NO_x-branders die 120 mg/Nm³ halen bij oliegestookte installaties prijzen van € 5.000-7.000 voor een gasoliebrander (tweetraps of drietraps) en € 9.500-11.500 voor een modulerende gasoliebrander. Het gaat om ketels van 2 MW en niet aangegeven is wat een normale brander zou kosten. De kosten zijn blijkbaar sterk afhankelijk van de eisen die aan de regelbaarheid van de brander gesteld worden. Voor het bereiken van nog lagere waarden worden prijzen genoemd die 15 tot 20% hoger zijn dan hier genoemd. Ter vergelijking, een brander van 1 MW_{th} kost circa € 5.000 en de hele ketelinstallatie circa € 45.000²⁴ (een schonere brander zou de ketelinstallatie 2% duurder maken). Verder stelt VITO; “Lage NO_x branders zijn enkel te verkrijgen voor aardgas of gasolie. Volgens branderfabrikanten (persoonlijke communicatie Hamworthy en Weishaupt) is de markt van de zware stookolie branders te klein en de kosten te hoog om ontwikkelingen te doen voor dit type branders”.

4.5 Enkele gegevens over LPG

4.5.1 Label schone verbranding bij LPG

Het keurmerk schone verbranding (SV-label) is een vrijwillige norm voor NO_x en CO voor ketels. Voor LPG (Propane G31 en Butane G30) hangen in tegenstelling tot aardgas de eisen wel van het type brander af. De eisen staan in Tabel 4.9. De eis voor CO is hierbij van 160 ppm (zuurstofvrij) omgerekend naar 198 mg/Nm³ (bij 3% zuurstof) (Gaskeur, 2001).

Tabel 4.9 *Eisen SV-label voor LPG*

Type brander	NO _x [mg/Nm ³ bij 3% O ₂]	CO [mg/Nm ³ bij 3% O ₂]
Atmosferische branders	106	198
Ventilator branders	88	198
Voorgemengde branders	70	198

De positie van LPG is niet geheel duidelijk. Bij het keurmerk wordt het blijkbaar tot de gassen gerekend, maar er worden wel andere eisen aan gesteld. Wellicht dat propaan en butaan een aparte categorie moet worden in de wetgeving. In het voorstel in het kader van de Ecodesign maatregel wordt het tot de gassen gerekend; en krijgt ook dezelfde emissie-eis van 50 mg NO_x /Nm³ bij 3% O₂.

4.5.2 Emissies van LPG-installaties op de markt

Het al genoemde meetrapport van de KIWA bevat ook een aantal installaties op propaan. Een selectie van enkele gegevens staat in Tabel 4.10 (Gastec, 2007). In het rapport is aangegeven dat het aantal geteste installaties te klein is om conclusies te trekken. De NO_x-emissies van LPG gestookte ketels zijn hoger dan voor aardgas. Van alle 28 geteste ketels zijn er 2 (volledig voorgemengde CV-ketels) die een gemiddelde NO_x-emissie hebben beneden de 70 mg/Nm³ (en geen van deze twee komt onder de 50 mg/Nm³ bij 3%O₂).

Tabel 4.10 *Metingen aan propaangestookte installaties gekeurd tussen 2002 en 2006*

	Aantal installaties	Gemiddeld NO _x -emissie in mg/Nm ³ bij 3% O ₂	Maximale NO _x -emissie in mg/Nm ³ bij 3% O ₂
CV-ketel atmosferisch	2	165	205
CV-ketel volledig voorgemengd	21	115	136
Luchtverwarmers	5	185	195

²⁴ Prijzen uit 2005: Brander: EK 4.160 L-ZA; Ketel Rendamax R3065 (gasketel).

4.5.3 Kosten LPG-ketels

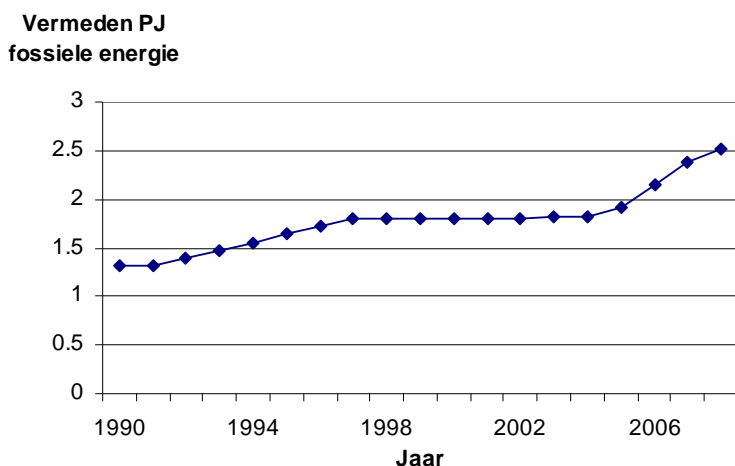
Op de CV-ketel markt is de prijs van een HR- of VR-ketel op propaan gelijk aan die van een HR- of VR-ketel op aardgas; circa € 1.800 - € 2.200²⁵ voor een gemiddelde HR-ketel. Voor het ombouwen van aardgas naar propaangas komt daar dan gemiddeld nog circa € 150 - € 200 bij.

²⁵ <http://www.lpginfosite.nl/propaanketels.html>.

5. Houtgestookte ketels

5.1 Ontwikkeling van houtgestookte ketels

Houtgestookte ketels komen veel voor in de hout-, timmer- en meubelindustrie, de zogenaamde houtmotketels. In deze installaties wordt het eigen houtafval gestookt dat met name bestaat uit massief hout, plaatmateriaal en spaanplaat. Het is de bedoeling dat de warmte die vrijkomt wordt ingezet in bedrijfsverwarming of in industriële processen (droogkamers). De inzet van hout is de laatste jaren aan het groeien, zie Figuur 5.1 (bron CBS).



Figuur 5.1 *Houtketels voor warmte bij bedrijven*

Naast de bestaande biomassa-installaties in de meubel- en timmerfabrieken sector is door de nationale klimaatdoelen een ontwikkeling zichtbaar in de agrarische sector die wellicht de groei van biomassa-installaties op gang gaat brengen. De agrarische sector wil door het inzetten van biomassa als brandstof in de energie- en warmteopwekking werken aan de doelen uit het agro-convenant, een onderdeel van het Rijksprogramma Schoon en Zuinig. Concreet betekent dit het stoken van biomassa-resten van de landbouw en uit de sector bosbeheer. Ondanks dat deze ontwikkeling voorziet in grotere installaties, groter dan 1 MW_{th}, is het niet uitgesloten dat kleinere installaties in de glastuinbouw of in de agrarische sector zullen worden geplaatst. Ook in de gebouwde omgeving zijn al een aantal houtketels (maar dan vaak gestookt met pellets) in gebruik.

Een mogelijk probleem bij de emissienormstelling van biomassa gestookte ketels is de spreiding in de stookwaarde van de biomassa. Hierdoor lijkt het beter om de emissie uit te drukken in milligrammen per kubieke meter droog rookgas dan in eis die aan de verbrandingswaarde gekoppeld is (bijvoorbeeld g/GJ).

In de sector huishoudens wordt hout als energiedrager vooral verbrand in kachels, openhaarden en inzethaarden. Het aantal CV-ketels op hout is nog beperkt (circa 1.000) en deze hebben nog maar een klein aandeel in het houtverbruik ten opzichte van het andere houtverbruik in de huishoudsector. Op de houtketel markt zijn naast Nederlandse producent(en?) verschillende importeurs actief die ketels uit diverse Europese landen op de Nederlandse markt verkopen.

5.2 Emissies en emissie-eisen houtgestookte ketels

5.2.1 Europese productnormen voor houtgestookte ketels

De Europese productnormen voor CO en PM voor de verschillende hout gestookte ketels staan vermeld in Tabel 5.1. De EN 12809 norm geldt tot 50 kW de EC 303-5 norm tot 300 kW.

In Zwitserland mogen alleen nog installaties <350 kW verkocht worden die aan deze norm voldoen (Nussbaumer, 2006). Uit Zwitsers onderzoek blijkt verder dat de NO_x-emissies van hout-pellets gestookte ketels met slechts één verbrandingskamer tussen de 225 en 320 mg/Nm³ ligt. (bij 6% O₂).

Tabel 5.1 *Productnormen houtgestookte ketels verplicht in Zwitserland tot 350 kW*

Ketel soort	Norm	CO [mg/m ³]	PM [mg/m ³]	PM [mg/m ³]
		1-8-2008 13%/6% O ₂	1-1-2008 13%/6% O ₂	1-1-2011 13%/6% O ₂
Stukhoutketel	EN 303-5 EN 12809	800 / 1500	60 / 113	50 / 94
Automatische houtketel	EN 303-5 EN 12809	400 / 750	90 / 170	60 / 113
Pelletketel	EN 303-5 EN 12809	300 / 560	60 / 113	40 / 75

5.2.2 Zwitserse emissienormen voor houtgestookte ketels

Zwitserland was één van de eerste landen waar emissie-eisen gesteld werden voor houtgestookte installaties. Sinds 2007 is hier een nieuwe luchtkwaliteitswet (Luftreinhalte-Verordnung LRV) van kracht voor houtgestookte installaties onder de 1 MW_{th}, met de in Tabel 5.2 genoemde emissienormen. Deze normen gelden voor zowel bestaande als nieuwe houtgestookte ketels. Voor bestaande installaties van voor 2007 geldt een overgangstermijn van 15 jaar.

Tabel 5.2 *Emissienormen van de LRV bij 13% en 6% O₂*

Vermogen [kW]	Invoering	PM [mg/m ³]	CO [mg/m ³]	NO _x [mg/m ³]
>600	2009	30 / 56	500 / 940	250 / 570
>350	2015	30 / 56	500 / 940	250 / 570
>70	2015	---	500 / 940	250 / 570

Tot 1 Januari 2015 moeten de ketels met een vermogen lager dan 600 kW voldoen aan een fijn stof emissie norm van 282 mg/Nm³ bij 6% zuurstof (LRV,2006). Voor ketels met een vermogen van minder dan 70 kW zijn er geen expliciete eisen meer opgenomen voor de fijn stof uitstoot. Dit sluit echter niet uit dat er wel degelijk gecontroleerd wordt op het correct functioneren van de verbrandingsinstallatie. Houtgestookte installaties kunnen bij verkeerd gebruik een aanzienlijke bijdrage leveren aan de fijn stof emissies (Nussbaumer, 2006). De bandbreedte van de geteste installaties lag tussen de 20 en 5.000 mg/m³ bij 13 volume % zuurstof (36 tot 9.500 mg/Nm³ bij 6% O₂). De uitgestoten fijn stof van houtgestookte ketels bestaat voornamelijk uit anorganische zouten, deze kan bij een slechte of onvolledige verbranding echter wel schadelijke stoffen als Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen (PAKs) bevatten, die kankerverwekkend kunnen zijn. In het geval van een zeer slechte verbranding waarbij 5.000 mg PM per m³ geproduceerd wordt zijn PAK-emissies tot 5.600 µg/m³ gemeten, ter bepaling van de gedachte de PAK-emissie van een diesel gestookte ketel bedraagt 5.3 µg/m³. Het is dus van belang dat de hout gestookte ketels gestookt worden onder de juiste condities (λ = 1.5 - 2.0) met schoon- en droog hout van de juiste afmetingen.

5.2.3 Nederlandse eisen in de NeR speciale regeling F7

Voor schoonhout verbranding bij bedrijven in Nederland gelden de NeR eisen voor CO en fijn stof. In de NeR Speciale regeling F7 worden de volgende emissie-eisen gesteld, zie Tabel 5.3.

Tabel 5.3 *NeR Emissie-eisen F7*

Vermogen	PM in [mg/Nm ³] (bij 11 vol% O ₂ / 6 vol% O ₂)	CO in [mg/Nm ³] Geen zuurstofgehalte aangegeven
<0,5 MW _{th}	100/150	<2000
0,5 - 1,5 MW _{th}	50/75	<2000

5.2.4 Duitse emissienormen voor houtgestookte ketels

In 2002 is een nieuwe TA lucht van kracht geworden in Duitsland. De TA lucht emissie-eisen staan in Tabel 5.4. Het bijzondere is dat de meting van de koolstofmonoxide emissie bij houtverbranding continu moet gebeuren (deze eis geldt alleen bij deellast).

Tabel 5.4 *Emissie-eisen voor biomassa verbranding per 24 juli 2002*

Emissies in [mg/Nm ³ bij 6% O ₂]	NO _x	SO ₂	PM	CO	C in C _x H _y
1-2,5 MW _{th} in [mg/Nm ³ bij 11 O ₂]	250	Nb	100	150	10
1-2,5 MW _{th} in [mg/Nm ³ bij 6% O ₂]	375		150	225	15
Stro 0,1-1 MW _{th} in [mg/Nm ³ bij 11 O ₂]	400	Nb	50	150	10
Stro 0,1-1 MW _{th} in [mg/Nm ³ bij 6% O ₂]	600		75	225	15

Per 2015 wordt de nieuwe emissiewet 1^e BimSchV van kracht in Duitsland voor kleine stookinstallaties tussen 4 kW en de 50 MW.

Tabel 5.5 *Emissie-eisen voor biomassa verbranding in Duitsland anno 2015*

Brandstof	Installatie [kW]	PM		CO	
		[mg/m ³] bij 13% O ₂		[mg/m ³] bij 13% O ₂	
		<2015*	>2015*	<2015*	>2015*
Steenkool, bruinkool, houtskool, turf	4 - 500	90	20	1000	400
	>500	90	20	500	400
Natuurlijk stukhout, natuurhout	4 - 500	100	20	1000	400
	>500	100	20	500	400
Geverfd- en verlijmd hout	30-100	100	20	800	400
	100 - 500	100	20	500	400
2 ^e generatie biobrandstoffen	4 - 100	100	20	1000	400

* Voor installaties gebouwd voor respectievelijk na 2015.

Na 2015 moet de fijn stof uitstoot minder dan 20 mg/m³ (38 mg/Nm³ bij 6% O₂) zijn en de CO-uitstoot minder dan 400 mg/m³ (750 mg/Nm³ bij 6% O₂).

Uitgezonderd houtgestookte ketels voor huishoudelijk gebruik is er een overgangsregeling voor bestaande ketels afhankelijk van het bouwjaar. Houtgestookte ketels die gebouwd zijn voor 1995 moeten per 2015 voldoen aan de gestelde emissie-eisen. Ketels die gebouwd zijn tussen 1995 en 2004 moeten per 2019 voldoen en ketels die gebouwd zijn na 2004 moeten per 2025 voldoen.

5.2.5 Voorstel normstelling van een fabrikant

In het kader van de discussie over BEMS heeft een fabrikant (hier aangeduid met fabrikant-1) in een reactie een indicatie gegeven van eisen die beter haalbaar zijn. De fabrikant heeft ook een voorstel gedaan voor de normstelling van houtgestookte installaties <1,5 MW_{th}, zie Tabel 5.6.

Tabel 5.6 *Voorstel normstelling fabrikant-1*

Bij 11% / 6% O ₂	CO [mg/Nm ³]	NO _x [mg/Nm ³]	PM [mg/Nm ³]
Schoon hout	200 / 300	200 / 300	25 / 37,5
Spaanplaat	200 / 300	400 / 600	25 / 37,6

Voor koolwaterstoffen wordt een emissie-eis van 40 mg/Nm³ voorgesteld bij 11% O₂. De eisen aan de CO- en C_xH_y-uitstoot hebben tot doel om er voor te zorgen dat de verbrandingskamer zo optimaal mogelijk ontworpen wordt. De hogere norm voor stikstof bij spaanplaat komt voort uit het hoge stikstofgehalte van de 'lijm' die bij spaanplaat gebruikt wordt. Deze levert bij verbranding extra NO_x op.

De emissie-eisen uit de NeR speciale regeling F7 voor de fijn stof bij het stoken van schoon hout zijn 150 mg/Nm³ bij 6% zuurstof, dit komt overeen met 50 gram per GJ. In het voorstel van Tabel 5.6 ligt de emissie-eis voor fijn stof dus een factor vier lager dan de eis in NeR speciale regeling F7. Er is in deze speciale regeling geen emissie-eis voor het stoken van spaanplaat of MDF. Doordat de emissie van schadelijke stoffen sterk afhangen van de eigenschappen van het stookhout zijn in Duitsland en Oostenrijk eisen gesteld aan de samenstelling hiervan (houtnormen).

5.2.6 TÜV typekeur onderzoek

De TÜV heeft typekeur onderzoek gedaan naar verschillende tweetraps houtgestookte ketels van Gilles in 2005. Alle drie de gekeurde ketels van Gilles bevatten een lambda sensor, zijn niet condenserend en hebben één verbrandingskamer.

Tabel 5.7 *Type keuringsemissies van pellethout en houtchips gestookte ketels*

Type ketel	Vermogen [kW]	O ₂ [%]	CO		NO _x		PM	
			[mg/Nm ³]	[g/GJ]	[mg/Nm ³]	[g/GJ]	[mg/Nm ³]	[g/GJ]
HPK-RA *	12,5	7,4**	108	40,3	185	69,1	27	10,1
		12,4	69	40,8	109	64,5	11	6,5
PSK-RA *	30	5,8	34	11,4	231	77,2	28	9,4
		9,7	49	22,0	118	53,1	21	9,4
HPK-RA *	45	5,2	50	16,1	225	72,3	71	22,8
		9,2	27	11,6	173	74,5	34	14,6
Gemiddeld pellethout				23,7		68,5		12,1
HPK-RA	12,5	8,0	271	106	191	74,6	41	16,0
PSK-RA	30	7,3	183	67,9	196	72,7	25	9,3
		12,6	287	174	100	60,6	22	15,2
HPK-RA	145	6,1	35	12	199	67,8	66	22,5
		11,2	90	46,7	127	65,9	32	16,6
Gemiddeld houtchips				81,3		68,3		15,9

* Pellethout gestookte ketels.

** De eerste regel per keteltype is onder vollast gebruik en de tweede regel is onder deellast.

Bron: <http://www.gilles.at>.

De gemiddelde NO_x-uitstoot bij pellethout stook is 202 mg/Nm³ bij 6% zuurstof. Bij gebruik van houtchips is de NO_x-uitstoot bijna identiek. De fijn stof uitstoot bij pellethout stook is 38 mg/Nm³ bij 6% zuurstof. Bij gebruik van houtchips is de fijn stof uitstoot 47 mg/Nm³.

Duidelijk is dat, mits onder de goede condities gestookt, deze ketels onder deellast (de hogere zuurstofgehalten) geen significant hogere emissies hebben. Echter uit Zwitsers onderzoek blijkt dat vooral bij handgestookte ketels dit meestal niet het geval is (Verenum 2008). Om de uitstoot van schadelijke emissies te beperken moet de ketel zoveel mogelijk in vollast gebruikt worden. Dit kan het beste door gebruik te maken van grote watertanks met een inhoud van meer dan duizend liter die de warmte voor later gebruik opslaan of door bijvoorbeeld keramisch materiaal te gebruiken als warmteopslag.

5.2.7 Voorbeeld van buitenlandse ketel

Op internet kunnen de gegevens van de LING pelletkachels gevonden worden. Naast kolen en houtpellets kan hier ook graan en andere brandstoffen in gestookt worden. De installatie heeft een automatische brandstoftoevoer en is bedoeld voor ruimteverwarming. De automatische werking van de ketel wordt gestuurd door een klassieke ruimtethermostaat²⁶. De kosten van een 25 kW ketel zijn ongeveer € 3.000.



Figuur 5.2 Ling pelletkachel

In Tabel 5.7 zijn de emissiegegevens opgenomen zoals deze in Polen zijn gemeten (Instytut Energetyki, 2008).

Tabel 5.8 Gemeten emissies van Ling Pelletkachels

Emissies in [mg/Nm ³ bij 6% O ₂]	NO _x	SO ₂	PM	CO	C _x H _y
Ling 15 op houtpellets (15 kW)	760		12	400	34
Ling 25 op kolen (25 kW)	730		65	190	1,4
Ling 25 op houtpellets (25 kW)	610		80	220	3

5.2.8 Totaal beeld emissies en eisen houtgestookte ketels

In Tabel 5.9 is een overzicht gegeven van de genoemde emissies in de voorgaande paragrafen. Hierbij kan opgemerkt worden dat schoon hout meestal weinig zwavel bevat, zodat de emissie hiervan vaak niet gelimiteerd hoeft worden. Er zijn echter wel degelijk biomassa-stromen waar het zwavelgehalte wat hoger is. Verder kenmerkt hout zich doordat het niet continu verbrand. Zeker bij het gebruik van houtblokken komt in het begin heel veel energie vrij en later veel minder. Het is lastig om te zorgen dat er, zeker in het begin, voldoende lucht is om een goede verbranding te bewerkstelligen. Installaties die houtmot of houtpellets verstoken kennen dit probleem veel minder. Zoals door fabrikant-1 aangegeven kunnen CO- en C_xH_y-emissie-eisen een rol spelen om tot een optimale verbrandingskamer te komen. Door deze eisen wordt ook de vorming van fijn stof beperkt.

²⁶ <http://pelletheizungen-pelletkessel.de>.

Tabel 5.9 *Emissie-eisen en metingen voor biomassa verbranding*

Emissies in [mg/Nm ³ bij 6% O ₂]	NO _x	SO ₂	PM	CO	C _x H _y
NeR (NL) schoon hout en <0,5 MW _{th}			150	<2000	
NeR (NL) schoon hout en 0,5 - 1,5 MW _{th}			75	<2000	
Besluit BEMS biomassa (december 2009)	200	200	20		
Voorstel fabrikant-1 voor ketels <1.5 MW _{th} in het kader van BEMS discussie (schoon hout)	300		38	300	60
Voorstel fabrikant-1 voor ketels <1.5 MW _{th} in het kader van BEMS discussie (spaanplaat)	600		38	300	60
EU productnormen stookhoutketel			94	1500	
EU productnormen automatische houtketel			113	750	
EU productnormen pelletketel			75	560	
Zwitserland kW: >600 per 2009 >350 per 2012 en >70 kW per 2015	570		56	940	
Duitsland per 2002 houtstook 1-2,5 MW _{th}	375		150	225	15 als C
Duitsland per 2002 Stro 0,1-1 MW _{th}	600		75	225	15 als C
Duitsland per 2015 natuurlijk stookhout, Natuurhout 4 - >500 kW			38	750	
Duitsland per 2015 geveerd- en verlijmd hout 30-500 kW			38	750	
	225-				
Houtpellets in Zwitserland (meting)	320				
Metingen pellethout (gemiddelde)	202		38	70	
Metingen houtchips (gemiddelde)	202		47	240	
Ling 15 op houtpellets (15 kW)	760		12	400	34
Ling 25 op houtpellets (25 kW)	610		80	220	3

5.3 Best Beschikbare Technieken

De emissies van houtgestookte ketels met de best beschikbare technieken volgens de voorstudie van de Ecodesign richtlijn voor vaste brandstoffen zijn weergegeven in Tabel 5.10.

Tabel 5.10 *Emissies van ketels met de best beschikbare technieken bij 6% zuurstof*

Brandstof	NO _x [mg/Nm ³]	PM [mg/Nm ³]
Schoon stookhout	40	170
Houtpellets/houtsnippers	170	20

Bron: EU Task 6 (2006)

De emissie van fijn stof kan verder naar beneden gebracht worden met elektrostatische of doekfilters waarbij waarden tot 5-20 mg/Nm³ worden genoemd. Voor handgestookte ketels is ook het stookgedrag van belang. Hout gestookte ketels blijken het meeste fijn stof te produceren wanneer deze onder deellast condities worden gebruikt. Om de hoeveelheid tijd dat een ketel wordt gestookt onder deellast condities te beperken wordt in Zwitserland overgegaan op het gebruik van grote warmteopslag tanks.

Een variant op het tweefasen verbrandingsprincipe is de vlamloze verbranding (Nussbaumer 2006). In de vlamloze verbranding (FLOX®), wordt de lucht nodig voor de verbranding voorverwarmd met de rookgassen. De voorverwarming van de lucht levert een vermindering van de

NO_x-uitstoot op zie Tabel 5.11. Ook wordt de hoeveelheid zuurstof (λ) geoptimaliseerd, wat eveneens bijdraagt aan de vermindering van de uitstoot.

Tabel 5.11 NO_x-emissie van FLOX-ketels

Brandstof	Stikstof in brandstof [mg/kg]	NO _x -emissie [mg/Nm ³] bij 6% O ₂ .	FLOX proces NO _x -emissie [mg/Nm ³] bij 6% O ₂ .
Aardgas	0	80	15
Koolzaadolie	76	100	35
Houtpellets		225-320	150-190

Doordat de rookgassen gebruikt worden om de lucht voor te verwarmen kan deze ketel niet gebruikt worden in een combinatie met een warmtewisselaar zoals in een condenserende ketel.

Een relatief kostbare oplossing om de NO_x-uitstoot te verminderen is het gebruik van Selectieve Katalytische Reductie (SCR) of Selectieve Niet Katalytische Reductie SNCR. Bij SCR wordt het reductiemiddel ureum gebruikt, dit wordt omgezet in het reductiemiddel ammoniak (NH₃), en in het rookgas gesproeid. Op de katalysator die daarna is geplaatst wordt met het ammoniak de NO_x afgebroken. Voor het goed functioneren van een SCR is het van belang dat de temperatuur van het rookgas tussen de 200 en 250 °C ligt. Echter bij houtgestookte ketels in deellast is de rookgastemperatuur rond de 150 °C, zodat een SCR niet optimaal zal functioneren. Het ligt in de verwachting dat door efficiëntieverbetering onder druk van de Ecodesign richtlijn, de rookgastemperatuur nog verder zal dalen. Een optie zou dan zijn om de SCR ergens tussen de warmtewisselaars in te bouwen, op de plek waar de juiste temperatuur verwacht wordt. Dit gebeurt bijvoorbeeld bij SCR in de afgassenketel van gasturbines. Ook vanuit het oogpunt van de kosten zal SCR niet gebruikt gaan worden voor kleine ketels. Bij SNCR wordt geen katalysator gebruikt maar van een deel van de verbrandingskamer waar de reactie als gevolg van de heersende temperatuur plaats kan vinden. Een belangrijk verschil is de NO_x-verwijderingsgraad bij SCR boven de 80% ligt en bij SNCR beneden de 50%. Zowel SCR als SNCR zijn, bij de huidige afwegingen, alleen (kosten)effectief bij grote houtgestookte centrales >1 MW_{th} die continu op vollast werken. De investeringskosten van het toepassen van SNCR zijn ongeveer € 90.000, SCR kost € 150.000 tot € 275.000.

De Best Beschikbare Technieken om de fijn stof emissie te reduceren zijn:

- Efficiëntie verbetering.
- Gefaseerde verbranding.
- Elektrostatische fijn stof afscheiding zowel nat als droog.
- Doekfilters.

Efficiëntie verbetering

Analoog aan de efficiëntieverbetering van HR-ketels ten opzichte van VR-ketels kan ook bij houtgestookte ketels de condensatiewarmte van de waterdamp in de rookgassen teruggewonnen worden. De onderste verbrandingswaarde van houtpellets is 18,8 MJ/kg en de bovenste verbrandingswaarde of stookwaarde is 17,3 MJ/kg. Het verschil (7,8%) is de condensatiewarmte van het gevormde water. Deze kan teruggewonnen worden met behulp van een warmtewisselaar met voldoende lage temperatuur. Door het gebruik van de warmtewisselaar neemt ook de emissie van fijn stof af van 8,0 (± 0,4) g/GJ tot 5,0 (± 1,7) g/GJ, wat overeenkomt met 15 mg/Nm³ bij 6% zuurstof (Nussbaumer, 2006). Een condenserende ketel kan dus circa 40% minder fijn stof uitstoten.

Gefaseerde verbranding

De laagste emissies worden gehaald door houtgestookte ketels die werken volgens het zogenaamde tweefasen verbrandingsprincipe. Dit type ketel is uitgerust met twee kamers boven elkaar, waarbij het hout gedroogd en gedeeltelijk vergast wordt in de bovenste kamer en later volledig verbrand wordt in de onderste kamer (EU Task_6, 2009). Dit type ketels haalt een efficiëntie van meer dan 80% (Verenum, 2008). Als houtsnippers of pellets gestookt worden ligt voor dit type ketel de fijn stof uitstoot rond de 20 mg/Nm^3 zonder additionele doek- of elektrostatische filters. Echter bij de stook van stukhout ligt de fijn stof emissie aanzienlijk hoger, rond de 170 mg/Nm^3 bij 6% zuurstof. Doordat houtgestookte ketels vooral veel deeltjes uitstoten tijdens onvolledige verbranding is het van belang om deze condities te voorkomen. Bij handgestookte houtketels is ook het menselijk handelen van belang, er moet voor gezorgd worden dat deellast werking wordt voorkomen. Om deellast werking te voorkomen hebben moderne houtgestookte ketels een warmteopslag tank tot enkele duizenden liters, zodat slechts voor beperkte tijd in vollast gestookt hoeft te worden (Verenum, 2008).

Voor de ketels met een enkele verbrandingskamer wordt een venturi of cycloon gebruikt om aan de emissienorm voor fijn stof van 150 mg/Nm^3 (NeR speciale regeling F7, bij 6% O_2) te voldoen. Het rookgas wordt in een cilindervormige kamer geleid, waarin een werveling ontstaat. Door de centrifugale kracht wordt het stof naar de wand geslingerd. Het rendement is echter beperkt en een cycloon wordt meestal als voorafscheider gebruikt. Een lagere stofemissie kan alleen gehaald worden door middel van additionele doek- of elektrostatische filters.

De werking van het elektrostatische filter is afhankelijk van de bedrijfstemperatuur, deeltjesamenstelling en het dauwpunt van de rookgassen. Het elektrostatische filter werkt het beste bij relatief lage temperaturen, dus in combinatie met condenserende houtgestookte ketels.

In combinatie met een cycloon kan men met een elektrostatisch filter PM-emissies van $<10 \text{ mg/m}^3$ behalen (MINI-Elektrostatisch filter) (Bär, 2006). Gesteld dat dit bij 11% O_2 is, dan is dit $<15 \text{ mg/Nm}^3$ bij 6% O_2 . Het afgevangen stof moet daarna met enige regelmaat worden afgevoerd en apart verwerkt worden. Volgens dezelfde presentatie worden met doekfilters concentraties $<5 \text{ mg/Nm}^3$ gehaald (Bär, 2006)²⁷. Gesteld dat dit bij 11% O_2 is, dan is dit $<7,5 \text{ mg/Nm}^3$ bij 6% O_2)

Vocht in het stookhout verlaagt de verbrandingstemperatuur en zorgt voor verhoogde waarden van CO en de onverbrande koolwaterstoffen (Loo, 2008). Van belang is ook dat de hoeveelheid beschikbare zuurstof tijdens de verbranding onder controle gehouden wordt om de fijn stof uitstoot te beperken. In de moderne ketels, waarin gebruik gemaakt wordt van een gefaseerde verbranding, wordt het hout gedroogd in de eerste verbrandingskamer, ook kan de overmaat lucht (λ) aangepast worden per verbrandingskamer, hiervoor zijn speciale CO en λ sensoren ontwikkeld. Deze moderne ketels geven een aanzienlijke verlaging van de CO en onverbrande koolwaterstoffen emissies, zie Tabel 5.12. Echter ook de fijn stof emissies kunnen met een factor drie verlaagd worden, door het gebruik van de juiste lucht/brandstofverhouding.

Tabel 5.12 *Optimalisatie lucht/brandstofverhouding voor houtgestookte installaties*

Emissie mg/Nm^3 bij 11% O_2	$\lambda = 2 - 4$	$\lambda = 1.5 - 2$
CO	1000-5000	20 - 250
C_xH_y	100-500	<10
PAKs	0,1 - 10	$<0,01$
PM	150 - 500	50 -150

²⁷ Ein Gewebefilter erreicht eine sichere Unterschreitung von Reingasstaubgehalten $<5 \text{ mg/mn}^3$.

$\lambda > 1$ betekent dat er een overmaat lucht tijdens de verbranding is. Men spreekt dan over een (brandstof) arme verbranding.

Doordat de emissie van schadelijke stoffen sterk afhankelijk is van de eigenschappen van het stookhout zijn in Duitsland en Oostenrijk eisen gesteld aan de samenstelling hiervan, zie ook Tabel 5.13 (Houtnormen, 2009). Er zijn geen voorschriften voor de samenstelling van gerecycled hout. Vaak wordt echter de Duitse RAL-GZ 428 normering gebruikt die geen wettelijke status heeft. In dit voorschrift zijn geen eisen voor het stikstofgehalte van spaanplaat opgenomen.

Tabel 5.13 *Chemische en fysische eisen voor hout pellets*

	Duitsland DIN 51731	Oostenrijk Önorm M7135	Duitsland DIN plus
Vochtgehalte	<12%	<10%	<10%
Zwavel gehalte	<0.08%	<0.04%	<0.04%
Stikstofgehalte	<0.3%	<0.3%	<0.3%
Chloorgehalte	<0.03%	<0.02%	<0.02%
Asgehalte	<1.5%	<0.5%	<0.5%
Verbrandingswaarde	17.5 - 19.5 MJ/kg	>18 MJ/kg	>18 MJ/kg
Diameter	4 - 10 mm	4 - 10 mm	-
Lengte	<50 mm	<5D	<5D

5.4 Kosten houtgestookte ketels

De kosten voor houtgestookte ketels zijn sterk afhankelijk van het gewenste vermogen. In deze paragraaf zal onderscheid gemaakt worden tussen de kosten van ketels voor huishoudelijk gebruik en de kosten voor industrieel gebruik. Ook zullen voor beide klassen van ketels de meerkosten voor doek- en elektrostatische filters gegeven worden.

Houtgestookte ketels voor huishoudelijk gebruik

In de voorstudie voor de Ecodesign richtlijn voor ketels die met vaste brandstof gestookt worden zijn kosten vermeld voor ketels die bedoeld zijn voor huishoudelijk gebruik, zie Tabel 5.14 (EU Task 6, 2009).

Tabel 5.14 *Kosten houtgestookte ketels*

Type	Vermogen [kW]	Aanschaf [€]	Installatie [€]	Onderhoud [€]	Totaal [€]
Conventioneel	18	3.000	1.500	1.000	5.500
Twee kamer	20	3.000	1.500	1.000	5.500
Retort	25	4.000	1.500	1.000	6.500
Pellet	25	4.000	1.500	1.000	6.500

Deze kosten komen goed overeen met de kosten die vermeld staan op het internet bij twee verschillende aanbieders:

- Een kronfire houtgestookte ketel van 23 kW kost € 3.970,09 exclusief BTW²⁸.
- Een randotech houtgestookte ketel van 15 kW is beschikbaar vanaf € 2.000,- exclusief BTW²⁹.

Een probleem van houtgestookte ketels blijft de fijn stof uitstoot. Om de fijn stof uitstoot te verlagen tot ongeveer 10 mg/Nm³ (bij 6% zuurstof) zijn additionele doek- of elektrostatische filters

²⁸ <http://www.warmteservice.nl/groep/225/cv-ketel/houtgestookt.do>

²⁹ <http://www.randotechnic.nl/ACROBAT-BESTANDEN/ATMOS.pdf>

noodzakelijk. Voor de kleine houtgestookte CV-ketel (~ 25 kW) kost een elektrofilter ongeveer € 400, dit is de Clean Air Unit (Nussbaumer, 2006). Dit filter heeft een opvangreservoir voor ongeveer 20 kilogram stof, die tijdens het jaarlijks onderhoud geleegd kan worden. In de voorstudie voor de Ecodesign richtlijn voor ketels die met vaste brandstof gestookt worden, worden hogere kosten vermeld voor additionele filters of katalysatoren, zie Tabel 5.15 (EU Task 6, 2009).

Tabel 5.15 *Kosten additionele filters en andere technologie bij kleine ketels*

Filtertype	Kosten [€]	PM-uitstoot vermindering	NO _x -uitstoot vermindering	CO-uitstoot vermindering
Elektrostatisch	1.500	50 - 90%	-	-
Doek	1.000	90 - 95%	-	-
Efficiënte Cycloon	700	80%	-	-
Oxidatie katalysator				70 - 99%
Schoorsteentrek beperker	130		5%	
Schoonsteentrek management	960	5%	5%	

Houtgestookte ketels voor de utiliteitssector en voor industrieel gebruik

De aanschafkosten van houtsnipper gestookte ketels staan in Tabel 5.16 (Haarlem, 2005). Hierin is de fiscale aftrek van 19% meegenomen (EIA, 2009). Deze ketels zijn voornamelijk bedoeld voor het Midden- en Kleinbedrijf en de utiliteitssector waar de warmtebehoefte hoger kan liggen.

Tabel 5.16 *Kosten houtsnipper gestookte ketel (Nederland)*

Type ketel	Vermogen [kW]	Investeringskosten [€]
Handgestookt	10 - 50	11.000
	50 - 100	18.000
	>100	Evenredig meer
Automatisch	10 - 50	21.000
	50 - 100	33.000
	>100	Evenredig meer

De kosten van fijn stof filters voor houtgestookte ketels met een hoger nominaal vermogen van meer dan 100kW zijn aanzienlijk hoger. Voor een 200 kW installatie zijn de meerkosten voor een doekfilter ongeveer 24% en voor een elektrostatisch filter ongeveer 34%. Bij een 1 MW_{th} installatie is dit respectievelijk 15% en 22% van de investeringskosten, zie Tabel 5.17.

Tabel 5.17 *Kosten doekfilters en elektrostatische filters (Zwitserland)*

Vermogen	Houtketel [k€]	Elektrostatisch filter [k€]	Doekfilter [k€]
100 kW	100	67	53
200 kW	167	73	55
500 kW	327	100	60
1000 kW	433	120	73

Kosten overzicht

Ketels voor huishoudelijk gebruik:

- Investeringskosten houtgestookte ketel: € 3.000 - € 4.000 exclusief BTW.
- Additionele kosten elektrostatisch filter: € 1.500, maar ook € 400 wordt genoemd.

- Een elektrostatisch filter voor dit type ketels verhoogd de aanschafprijs met ongeveer 38-50%.
- Een doekfilter verhoogd de prijs met ongeveer 25 - 33%.

Ketels voor industrieel gebruik:

- Investeringskosten houtgestookte ketel > 50 kW: € 18.000 - € 100.000.
- Additionele kosten elektrostatisch filter: € 67.000 - € 120.000.
- Een elektrostatisch filter voor dit type ketels verhoogd de aanschafprijs met ongeveer 22-67%.
- Een doekfilter verhoogd de prijs met ongeveer 15-53%.

6. Kolengestookte ketels

6.1 Ontwikkeling van kolengestookte ketels

Van de kleinschalige kolenstook die in Nederland nog resteert is weinig bekend. Binnen Nederland is er, mede door de milieudruk, sprake van een langzame uitfasering. De statistiek geeft nog een verbruik van 1 PJ aan. Er zouden nog circa 3.000 kolenkachels zijn (0,2 PJ). Ook is bekend dat er in de landbouwsector nog kolen worden gebruikt, er zijn hiervan voorbeelden in de varkenssector (is een restpost in de statistiek en varieert erg: circa 0,5 PJ). Indien deze kolen grotendeels in grasdrogerijen zouden worden gebruikt is het aantal ketels en het verbruik in de agrarische sector lager dan hier aangegeven. Hierbij speelt nog mee dat de nauwkeurigheid van de statistiek ook wordt beïnvloed doordat een deel van de gebruikte kolen rechtstreeks uit België komt waar kolen een veel gangbaarder brandstof is.

6.2 Emissies en emissie-eisen kolengestookte ketels

6.2.1 Nederlandse emissie-eisen aan kolenketel in BEES B.

De emissie-eisen van kolengestookte ketels (ook van die kleiner zijn dan 1 MW_{th}) waren vastgelegd in het Besluit Emissie-Eisen Stookinstallaties B (BEES B). In tegenstelling tot ketels gestookt op aardgas, gasolie of zware stookolie waarvoor een ondergrens geldt van 0,9 MW_{th}, vielen alle kolengestookte ketels onder BEES B. De emissie-eisen voor kolengestookte ketels in BEES B zijn 700 mg/Nm³ voor zwaveldioxide, 100 mg/Nm³ voor NO_x en 20 mg/Nm³ voor fijn stof (alle bij 6% zuurstof), zie Tabel 6.1 In BEMS zijn er echter geen emissie-eisen gesteld voor kolengestookte ketels met een nominaal vermogen onder 1 MW_{th}.

Tabel 6.1 *Emissie-eisen in BEES B*

Emissies in [mg/Nm ³ bij 6% O ₂]	NO _x	SO ₂	PM	CO
Nieuwe kolenketels	100	700	20	
BEMS-waarde	100	200	5	

6.2.2 Duitse emissienormen voor kolengestookte ketels

Per 2015 wordt de nieuwe emissiewet 1^e BimSchV van kracht in Duitsland voor kleine stookinstallaties³⁰. De Bimschv emissie wetgeving in Duitsland stelt een emissie-eis voor fijn stof van 90 mg/Nm³ voor steenkolen, die verlaagd wordt tot 20 mg/Nm³ in 2015, beide bij 13% zuurstof, zie Tabel 6.2. Ter vergelijking, de fijn stof emissie-eis uit BEES B komt overeen met ongeveer 11 mg/Nm³ bij 13% zuurstof.

Tabel 6.2 *Emissie-eisen voor vaste brandstoffen in Duitsland anno 2015*

Brandstof	Installatie [kW]	PM		CO	
		[mg/m ³] bij 13% O ₂		[mg/m ³] bij 13% O ₂	
		<2015*	>2015*	<2015*	>2015*
Steenkool, bruinkool, houtskool, turf	4 - 500	90	20	1000	400
	>500	90	20	500	400

³⁰ <http://www.bmu.de/luftreinhaltung/downloads/doc/39616.php>

6.2.3 Belgische emissienormen voor kolengestookte ketels

In België (Vlaanderen) zijn er sinds 1 januari 2008 nieuwe emissienormen van kracht voor kleine stookinstallaties (Innovatiesteunpunt, 2008). Deze normen zijn opgenomen in het VLAREM II (Vlaanderen, 1995) en uitgesplitst naar nieuwe en bestaande installaties en naar groter en kleiner dan 2 MW_{th}, zie Tabel 6.3. Ten aanzien van NO_x zijn er wat uitzonderingen voor bepaalde bestaande installaties en installaties met minder dan 100 bedrijfsuren. Voorts wordt ook een eis gesteld aan de uitstoot van chloriden (100 mg/Nm³) en fluoriden (30 mg/Nm³).

Tabel 6.3 *Vlaamse eisen aan met vaste brandstoffen gestookte installaties*

Inrichting [mg/Nm ³ bij 6% O ₂]	NO _x	SO ₂	PM	CO
0,3 tot 2 MW _{th} en vergunning voor 1 januari 2005	500	1250	100	250
2 - 5 MW _{th} en vergunning voor 1 januari 2005	400	1250	100	250
0,3 -5 MW _{th} Vergunning na 1 januari 2005	300	1250	100	200

6.2.4 Vergelijking tussen stof uitstoot van hout en kolengestookte ketel.

De fijn stof emissie van een kolengestookte ketel is weergegeven in Tabel 6.4. Duidelijk is in de vergelijking met houtstook de grote piek te zien die houtstook oplevert, vlak nadat het vuur is ontstoken en voordat het hout voldoende is opgewarmd. Kolen brandt de hele tijd veel gelijkmatiger. Opvallend is dat in de laatste fase van het vuur de hoeveelheid stof in massa wel afneemt, maar in aantal fijne stofdeeltjes juist nog wat toeneemt (Nussbaumer,2006).

Tabel 6.4 *Emissie van kolen en houtgestookte ketels*

Fase	PM [mg/m ³] bij 13% O ₂ / 6% O ₂		Deeltjes aantallen /cm ³	
	Hout	Kolen	Hout	Kolen
Opstartfase	126 / 240	26 / 49	3.5 ^E 9	3.4 ^E 8
Standaard bedrijfsomstandigheden	36 / 68	22 / 41	1.7 ^E 7	2.5 ^E 7
Burn out fase	4,6 / 8,7	1,7 / 3,2	2.0 ^E 7	3.7 ^E 7

6.2.5 Totaal beeld emissies en eisen kolengestookte ketels

Tabel 6.5 *Emissie-eisen voor kolen uit de diverse paragrafen*

Emissies in [mg/Nm ³ bij 6% O ₂]	NO _x	SO ₂	PM	CO
Nieuwe kolenketels BEES B	100	700	20	
BEMS december 2009	100	200	5	
Duitsland 0-500 kW nu			170	1900
Duitsland 0-500 kW na 2015			40	750
Duitsland >500 kW nu			170	950
Duitsland >500 kW na 2015			40	750
0,3 tot 2 MW _{th} en vergunning voor 1 januari 2005	500	1250	100	250
0,3 -5 MW _{th} Vergunning na 1 januari 2005	300	1250	100	200
Pelletkachel Ling 25 (25 kW)	730		65	190

In Tabel 6.5 zijn de diverse cijfers uit de voorgaande paragrafen samengevat. Nu allen omgerekend naar 6% O₂.

6.3 Best beschikbare technieken

De efficiëntie en emissies van een moderne kolengestookte ketels zijn weergegeven in Tabel 6.6. Deze emissiewaarden zijn overgenomen uit het vooronderzoek van de Ecodesign richtlijn naar vaste brandstof gestookte ketels (EU_task 6).

Tabel 6.6 *Emissie en efficiëntie van een moderne kolengestookte ketel*

	Emissie [mg/Nm ³] bij 13% O ₂ .	Emissie [mg/Nm ³] bij 6% O ₂	BEMS-besluit 2009 [mg/Nm ³] bij 6% O ₂
Efficiëntie	89%		
CO-emissie	90		
PM-emissie	40	75	5
NO _x -emissie	210	395	100

Met behulp van elektrostatische filters of ‘gewone’ doekfilters kan de fijn stof emissie verlaagd worden tot ongeveer 20 mg/Nm³. Hiermee voldoet de BBT ketel echter niet aan de fijn stof norm uit het BEMS-waarde. Om BEMS te halen zijn dus zeer goede filters en/of wassers nodig. Ook aan de NO_x-emissionorm in BEMS kan bij lange na niet voldaan worden.

Bij kolencentrales wordt gewerkt met rookgasontzwaveling (bijvoorbeeld via het natte gipsproces) om de SO₂ te verwijderen, lage NO_x branders en SCR tegen de NO_x en elektrostatische filters of doekfilters voor het fijn stof.

Onder andere door KARA worden er ook voor kleinschaliger installaties rookgasontzwaveling-installaties aangeboden. Voor installaties kleiner dan 1 MW_{th} wordt dit echter wel erg duur. Een andere optie is de inkoop van zeer zwavelarme kolen of het gebruik van kalkinjectie (of kalktoeslag bij wervelbedketels) om het zwavel te verwijderen.

Voor NO_x, kan het zijn dat het niet lukt om de emissies voldoende te beperken via brander en vuurhaard aanpassing en moet additioneel nog rookgasreiniging worden toegepast. SCR wordt gebruikt bij kolencentrales en kan ook hier toegepast worden (wellicht dat ontwikkelingen aan SCR bij vrachtwagens hier tot kostenreductie kan leiden). Een goedkopere optie is SNCR Selectieve niet katalytische reductie. Hierbij wordt ammoniak direct in de vuurhaard geïnjecteerd en kan het bij voldoende verblijftijd en de juiste omgevingstemperatuur de helft van de NO_x afbreken. Dit vergt echter wel de nodige stabiliteit in de installatie.

Voor deze NO_x en fijn stof verwijdering wordt verwezen naar het hoofdstuk over houtverbranding waar hier nader op wordt ingegaan.

6.4 Kosten kolengestookte ketels

In de voorstudie voor de Ecodesign richtlijn voor ketels die met vaste brandstof gestookt wordt de volgende kosten vermeld voor een kolengestookte ketel met een nominaal vermogen van 25 kW (EU Task 6, 2009):

Aanschafkosten:	€ 4.000.
Installatiekosten:	€ 1.500.
Onderhoudskosten:	€ 1.000.

7. Conclusies

Gas- en oliestook

In de lopende discussie over de Ecodesign richtlijn zijn voor gas- en oliegestookte ketels, met een nominaal vermogen van minder dan 400 kW, NO_x-emissie-eisen gesteld, die volgens plan in 2013 van kracht worden; medio 2010 blijkt het besluitvormingsproces echter te zijn vertraagd. Een NO_x-emissie limiet van 50 mg/Nm³ bij 3% zuurstof is voorgesteld voor gasgestookte ketels en een emissie limiet van 102 mg/Nm³ bij 3% zuurstof voor oliegestookte ketels. Het precieze meetregime is uit de stukken nog niet duidelijk en het maakt wel uit of het hier om een gemiddelde of een maximale emissie gaat.

In zijn algemeenheid kan gesteld worden dat de limiet bij gasstook van 50 mg NO_x/Nm³ bij 3% zuurstof in het rookgas zal leiden tot verlaging van de emissies in Nederland door verbetering van ventilatorbranders en het waarschijnlijk stoppen met de verkoop van atmosferische branders. In het segment van gasgestookte CV-ketels zijn inmiddels de nodige installaties te koop die 40 mg/Nm³ halen en zelfs enkele die beneden de 20 mg/Nm³ uitkomen. Voor kleine CV-ketels ligt de emissie-eis van 50 mg/Nm³ dan ook boven het BBT-niveau. Uitgaande van het BEMS-waarde van 70 mg/Nm³ ligt het voor de hand om voor de klasse tussen de 400 kW en 1 MW_{th} een waarde te kiezen die niet lager ligt dan het Ecodesign voorstel en niet hoger dan BEMS.

De voorgestelde eis bij de Ecodesign richtlijn van 102 mg/Nm³ bij oliestook kan in Nederland tot beperkte milieuverbetering leiden. Deze eis is wel ongeveer gelijk aan de eis in het typekeur, maar daar gaat het om een gemiddelde emissie. Afhankelijk van het meetregime³¹ zou het bij Ecodesign om een maximale emissie kunnen gaan. Kijkend naar de markt voor kleine ketels had de waarde ook lager gekozen kunnen worden, ergens tussen de 70 en 90 mg/Nm³. Uitgaande van het BEMS-besluit van 120 mg/Nm³ (VROM, 2010) ligt het ook hier voor de hand om voor de klasse tussen de 400 kW en 1 MW_{th} een waarde te kiezen die ergens tussen het Ecodesign voorstel en BEMS in ligt. Probleem is wel dat de nieuwe Duitse eis voor dit formaat oliebranders in 2015 op 179 mg/Nm³ komt te liggen, en Duitsland een veel belangrijkere afzetmarkt is voor dit type branders. Interessante technieken die in de toekomst tot lagere emissies van oliestook kunnen leiden zijn: 1) het voorverwarmen van de olie (gebeurt bijvoorbeeld al bij bio-olie) en 2) het verwijderen van de stikstof uit de huisbrandolie. Dit laatste zou wellicht in combinatie met ontzwavelen kunnen plaatsvinden.

Overwogen kan worden om ook een eis aan CO of fijn stof te formuleren om een goede uitbrand van de olie te garanderen. Bijvoorbeeld 25 mg/Nm³ voor CO of 5-15 mg/Nm³ voor fijn stof. Voordeel van CO is dat dit ook bij onderhoudsbeurten eenvoudig te meten is, wat niet geldt voor fijn stof. Ten aanzien van de SO₂-emissies is het zinvol om de eis van uit BEMS van 200 mg/Nm³ ook door te trekken naar de kleinere installaties. Hiermee wordt voorkomen dat men kleinschalig relatief sterk vervuilende brandstoffen gaat gebruiken. Ook zou overwogen kunnen worden om voor huisbrandolie het zwavelgehalte in navolging van Duitsland naar 50 ppm te verlagen om zo de toepassing van HR-olieketels mogelijk te maken, wat niet mogelijk is bij hogere zwavelgehalten vanwege corrosie problemen.

Voor propaan, butaan of LPG (een mengsel van butaan en propaan) zouden er separate emissie-eisen geformuleerd kunnen worden. In het Ecodesign concept wordt LPG (butaan en propaan) tot de gassen gerekend en voor installaties < 400 kW is er dan de 50 mg/Nm³ eis.

³¹ De huidige concept teksten geven hierover niet direct 100% uitsluitel.

Mede omdat het mogelijk is om bio-olie voor te verwarmen en omdat het zwavel en shet tikstofgehalte laag is, is er eigenlijk geen reden om hier andere eisen te formuleren dan voor ‘fossiele’ olie. Bio-olie en biogas worden (nog) niet meegenomen in de voorstellen voor de Ecodesign richtlijn. Dit geldt ook voor de aparte klasse van luchtverhitters, waar het Ecodesign traject inmiddels wel is gestart, maar medio 2010 is hier nog onvoldoende informatie over om goede uitspraken te doen.

Houtstook

In de voorstudie van de Ecodesign richtlijn voor vaste brandstof gestookte ketels zijn de NO_x en fijn stof emissies gepubliceerd van ketels gebouwd volgens de beste beschikbare technieken. Deze emissiewaarden zijn samengesteld uit gegevens die verstrekt zijn door de fabrikanten. De ketels met de laagste uitstoot werken volgens het principe van gefaseerde verbranding en hebben twee verbrandingskamers. In de eerste kamer wordt het hout gedroogd en gedeeltelijk vergast met het rookgas uit de tweede verbrandingskamer. Door het gebruik van verschillende zuurstofregimes in de twee verbrandingskamers kan een verlaging van de uitstoot van CO, C_x, H_y, NO_x en PM₁₀ bewerkstelligd worden.

De emissies van NO_x en fijn stof van deze ketels zijn echter ook sterk afhankelijk van het soort brandstof. Schoonhout gestookte ketels halen NO_x-emissies van 40 mg/Nm³, maar hebben een hoge uitstoot van fijn stof van ongeveer 170 mg/Nm³. Pellethout gestookte ketels hebben een relatief hoge NO_x-uitstoot van ongeveer 170 mg/Nm³, maar een lage fijn stof uitstoot van ongeveer 20 mg/Nm³. Er zijn momenteel geen katalysatoren beschikbaar die NO_x eenvoudig uit het rookgas kunnen verwijderen. Door middel van doek- en elektrostatische filters kan de hoeveelheid fijn stof in de rookgassen verlaagd worden tot minder dan 10 mg/Nm³. Internationaal wordt gewerkt aan ‘goedkope’ elektrostatische filters voor kleine vermogens. Elektrofilters hebben echter meestal een lager afvangstrendement dan goede doekfilters.

De uitstoot van fijn stof is sterk verhoogd bij deellast gebruik van de houtgestookte ketel. Om deellast werking te minimaliseren kunnen grote warmteopslag tanks gebruik worden tot wel enkele duizenden liters. Hout gestookte ketels hebben altijd een substantiële hogere uitstoot van NO_x en fijn stof ten opzichte van gasgestookte ketels. Uitwisseling van gasgestookte ketels met houtgestookte ketels levert dus altijd een verslechtering van de luchtkwaliteit op.

Kolenstook

Ten aanzien van kolenstook zijn er geen zwaarwegende redenen om de BEMS-waarden niet te handhaven voor de kleinere kolengestookte installaties. Hierbij speelt mee dat kleinschalige kolenstook maar liefst op drie terreinen (NO_x, SO₂ en fijn stof) luchtvervuiling kan veroorzaken en er ook uit reden van klimaatverandering geen reden is om kolen te bevoordelen. Hoewel het technisch mogelijk is om een kleinschalige installatie aan de eisen te laten voldoen, zal dit wel tot gevolg hebben dat een economisch voordeel uit een lagere kolenprijs door de extra investeringskosten teniet gedaan wordt.

Energiebesparing

De emissie van verbrandingsinstallaties kan ook beperkt worden door de energievraag en het daaruit voortvloeiende brandstofverbruik te verminderen. Voor de installaties waar het hier om gaat betreft dit bijvoorbeeld isolatie, gebalanceerde ventilatie en het gebruik van thermische zonne-energie. Ook kan de uitstoot verlaagd verbeterd worden door het rendement van de verbrandingsinstallatie te verbeteren. Binnen de Ecodesign richtlijn zijn bijvoorbeeld voorstellen gedaan voor de minimale efficiëntie van olie- en gasgestookte ketels onder de 400 kW. Deze eisen liggen in het algemeen lager dan de eisen in het besluit rendementseisen CV-ketels.

Het is belangrijk om te zorgen dat energiebesparingsmaatregelen ‘maximaal’ worden ingezet bij de toepassing van hout of WKK.

Referenties

- Bär, R. (2006): *Praxiserfahrungen mit elektrischen Abscheidern für Holzfeuerungen ab 200 kW*. Reiner AEROB-BETH Filtration GmbH, D-Lübeck. Presentatie tijdens *Holzenergie-Symposium*, ETH Zurich, 20 oktober 2006. <http://www.holzenergie-symposium.ch/Dokumente/Tgband9HES.pdf>
- BIO Intelligence Service (2009): *Solid fuel small combustion installations, EuP Preparatory Study Lot 15*. Final Stakeholder Meeting, Brussels, BIO Intelligence Service, Parijs, July 13 2009. http://www.ecosolidfuel.org/docs/stakeholder_final_pres.pdf
- Butcher, T., et.al. (2003): *NO_x - How Low is Achievable with Oilheating Combustion Systems?* Brookhaven National Laboratory, Long Island, New York, 2003
- CBS (2009): internet site: www.cbs.nl.
- Dreizler (2009): *Dreizler MAGMA - Infrarotstrahlungs-Gasgebläsebrenner*, Walter Dreizler GmbH, Spaichingen (Duitsland), 2009. http://www.dreizler.com/de/mcms.php?_oid=98cf516-32e2-35e7-dbe7-ea1b9c9cf56d8
- Derden, A., L. Goovaerts, P. Vercaemst en K. Vrancken (2005): *Beste Beschikbare Technieken voor de glastuinbouw*. Gent, Academia Press, 2005. http://www.emis.vito.be/sites/default/files/pagina/bbt_rapport_glastuinbouw_volledig_rapport.pdf
- België (2004): *Koninklijk besluit tot regeling van de stikstofoxides (NO_x) en koolmonoxide (CO)-emissieniveaus voor de olieën gasgestookte centrale verwarmingsketels en branders, met een nominaal thermisch vermogen gelijk aan of lager dan 400 kW*. Federale overheidsdienst volksgezondheid, veiligheid van de voedselketen en leefmilieu, [C – 2004/22051] N. 2004 - 354, 8 januari 2004. <http://reflex.raadvst-consetat.be/refLex/pdf/Mbbs/2004/01/30/85216.pdf>
- ECN (2008): *Onderbouwing en actualisatie BEES-B*. ECN-E--08-020. P. Kroon en W. Wetzels, 2008.
- ECN (2009): *Technologieverkenning*. ECN-E--09-047, P. Kroon, P. Lako en J.A.Z. Pieterse, ECN, Petten, 2009.
- ECODESIGN (2005): *Richtlijn 2005/32/EG van het Europees Parlement en de Raad van 6 juli 2005 betreffende de totstandbrenging van een kader voor het vaststellen van eisen inzake ecologisch ontwerp voor energieverbruikende producten en tot wijziging van Richtlijn 94/42/EEG van de Raad en de Richtlijnen 96/57/EG en 2000/55/EG van het Europees Parlement en de Raad*. Publicatieblad van de Europese Unie L191/58, 22 juli 2005.
- EIA (2009): *Energie Investerings Aftrek*. SenterNovem, 2009.
- EU Directive (1996): *Council Directive 96/61/EC of 24 September 1996 concerning integrated pollution prevention and control*. Internet: http://europa.eu.int/lex/en/lif/reg/en_register_151020.html, 31996L0061, Official Journal L 257, 10/10/1996 P. 0026 - 0040.
- EU (2009): *Document 2 WORKING DOCUMENT on possible Eco-design requirements for boilers*. Eco-design - Consultation Forum, Brussel, 24 and 25 June 2009. http://ec.europa.eu/energy/efficiency/ecodesign/forum_en.htm
- EU (2001): *Richtlijn 2001/81/EG van het Europees Parlement en de Raad van 23 oktober 2001 inzake nationale emissieplafonds voor bepaalde luchtverontreinigende stoffen*. Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen, L 309/22, 27 oktober 2001.

- EU Task 6 (2006): *Solid fuel small combustion installations, task 6*: Technical analysis of BATs, working document, version 1, June 2009.
- Gaskeur (2001): *GASKEUR-criteria; Criteria voor het GASKEUR/SV-label voor gasgestookte cv-toestellen CV-SV:2001, Toestellen met een nominale belasting tot 900 kW (Hi)*. Gastec Certification B.V., Apeldoorn, 18 mei 2001.
http://www.epk.nl/ud/overige/Criteria%20GASKEUR%20CV-SV_2001-NL.pdf
- Gastec (2007): *Inventarisatie van NO_x-emissiegegevens; Een inventarisatie van de NO_x-emissies van huishoudelijke centrale verwarmingstoestellen over de periode 2002 tot en met 2006*. VGI/319/LE, Gastec Technology B.V., Apeldoorn, juni 2007.
- Haarlem (2005): *Factsheet Energie uit biomassa (houtgestookte CV-ketels) voor het MKB*. uitgegeven door de gemeente Haarlem in 2005.
- Hamburg (2009): *Klimaschutzprogramm Solarthermie und Heizung*. SolarZentrum Hamburg, Hambrug, ingaande 1 juli 2009.
<http://www.hamburg.de/contentblob/153184/data/solarthermie-heizung.pdf>
- Houtnormen (2009): <http://www.rapsbiodiesel.de/de/normenholzpellets.htm>
- Innovatiesteunpunt (2008): *Steenkool: een alternatieve brandstof?* Innovatiesteunpunt voor land- en tuinbouw, Leuven, 2008.
- Institut Energgetykl (2008): *Bescheinigung Wasserkessel: „Ling 15“; Bescheinigung Wasserkessel: „Ling 25“*. Institut Energgetykl, Laboratorium für Prüfungen von Heizkesseln und Heizgeräten, Dostawcza, 14 oktober 2008. <http://pelletheizungen-pelletkessel.de/page8/page13/files/pru0308fbescheinigungen-15-35-kw-ling.pdf>
- Kemna, R., M. van Elburg, W. Li, R. van Holsteijn, (2007): *Eco-design of CH-boilers, Task 1 (FINAL); Definition, Test Standards, Current Legislation & measures*. (zie ook Task 2 tot en met 7), Van Holsteijn en Kemna BV, Delft, 30 september 2007.
- Kroon, P. (2007): *Update NO_x-emissies en reductieopties van kleine bronnen in het SE- en Ge-scenario*. ECN-E--07-027, ECN, Petten, 2007.
- Kroon, P. (2009): *Inschatting aantal ketels in Nederland <1 MW_{th}*. Internet notitie, ECN, 2009.
- Loo, S. van, J. Koppejan, (2008): *The Handbook of biomass Combustion and Co-firing*. Procede Group BV, Enschede, januari 2008.
- RAL (2006a): *Vergabegrundlage für Umweltzeichen Brenner-Kessel-Kombinationen (Units) mit Gasbrenner und Gebläse*. RAL-UZ 41, Gesellschafter: RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung E. V., Sankt Augustin, März 2006.
- RAL (2006b): *Vergabegrundlage für Umweltzeichen Ölbrenner-Kessel-Kombinationen (Units)*. RAL-UZ 46, Gesellschafter: RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung E. V., Sankt Augustin, März 2006.
- LRV (2006): *Luftreinhalte-Verordnung, Entwurf 17.10.2006 F342-0424, Der Schweizerische Bundesrat*.
- RBL (2007): http://wetten.overheid.nl/BWBR0022817/geldigheidsdatum_06-11-2009
- Nussbaumer T. (2006): *9. Holzenergie-Symposium; Feinstaubminderung und Stromerzeugung im Rahmen der zukünftigen Energieversorgung*. bundel met presentaties, ETH Zürich, 20 oktober 2006. www.holzenergie-symposium.ch
- SenterNovem (2009): Persoonlijke communicatie met SenterNovem, 2009.
- Verenum (2008): *Biomass Combustion in Europe Overview on Technologies and Regulations*. T. Nussbaumer et.al. Verenum Zwitserland, 2008.
- Verwarmingswijzer (2009): <http://www.verwarmingswijzer.nl/>

- VHK (2008): *Persoonlijke communicatie met van Holsteijn & Kemna* (VHK), Delft, 2008.
- VHK (2007): *EcoBoiler project; Executive Summary*. Van Holsteijn en Kemna BV, Delft, 30 september 2007.
- Viessman (2006): *Condensatietechnologie voor energiebesparing en een schoon milieu; Vakreeks Condensatietechnologie*. Viessmann-Belgium b.v.b.a., Zaventem, oktober 2006.
- Vlaanderen (1995): *Titel II van het Vlarem. Besluit van de Vlaamse regering van 1 juni 1995 houdende algemene en sectorale bepalingen inzake milieuhygiëne*. Incl. aanpassingen tot en met 16 juni 2009. Kabinet van de Vlaamse minister van Leefmilieu, Natuur en Cultuur, 31 juli 1995.
<http://www.lne.be/themas/vergunningen/bestand/regelgeving/titel-ii-van-het-vlarem-pdf>
- VROM (2010): *Ontwerpbesluit tot wijziging van het Besluit emissie-eisen stookinstallaties milieubeheer A, het Besluit verbranden afvalstoffen en het Besluit emissie-eisen middelgrote stookinstallaties milieubeheer (reparaties)*. Staatscourant, NR 15975, 14 oktober 2010.
- VROM (2009): *Meerjaren programma herijking van de VROM-regelgeving*, nr. 134 Lijst van vragen en antwoorden inzake het Ontwerp-Besluit emissie-eisen middelgrote stookinstallaties milieubeheer. Tweede Kamer, vergaderjaar 2008-2009, 29 383, nr. 134, 15 juli 2009.
- VROM (2008): *Ontwerp-Besluit emissie-eisen middelgrote stookinstallaties milieubeheer*. Tweede Kamer, vergaderjaar 2008-2009, 29 383, nr. 119, 9 december 2008.
- VROM (1998): *Besluit emissie-eisen stookinstallaties milieubeheer B*. Staatsblad 1998, nr. 166, 18 maart 1998.
- VROM (1995): *Besluit van 27 juni 1995, houdende regelen inzake een typekeuring voor CV-ketels, luchtverwarmers en voorzetbranders ten aanzien van de eigenschappen en onderdelen die bepalend zijn voor de door deze toestellen veroorzaakte verontreinigingen van de buitenlucht door stikstofoxiden*. Staatsblad 1995, nr. 344, 27 juni 1995.
- V&M (1974): *Besluit van 27 september 1974, houdende vaststelling van het Besluit zwavelgehalte brandstoffen*. Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne, 27 september 1974.

Internetsites Ecodesign:

<http://www.ecoboiler.org/> Eco-design of Boilers & Combi-boilers

<http://www.ecoheater.org/lot21/> Ecodesign of Central heating products using hot air to distribute heat (other than CHP)

<http://www.ecoheater.org/lot20/> Ecodesign of Local room heating products

<http://www.ecosolidfuel.org/> Ecodesign of Solid Fuel Small Combustion installations

Bijlage A Omrekeningen

Hieronder zijn een aantal omrekenfactoren opgenomen die in dit rapport zijn gebruikt. Voor normale kubieke meters (Nm³) is uitgegaan van rookgas dat omgerekend is naar 0 °C; 1,013 bar en watervrij (droog). Vaak worden emissie opgegeven als concentraties. Om emissies met elkaar te kunnen vergelijken is het zuurstofgehalte van belang. In de literatuur worden gehalten genoemd van 0%, 3%, 5%, 6%, 11%, 13%, 15% en 16%. In dit rapport zijn de emissies zoveel mogelijk omgerekend naar mg/Nm³ bij 3% zuurstof voor gas en olie en 6% zuurstof voor vaste brandstof. In de meeste gevallen is ook g/GJ een goede vergelijkingsbasis voor emissies. Bij biomassa heeft het watergehalte van de brandstof echter invloed op de verbrandingswaarde, waardoor dit bij deze brandstof geen exacte vergelijkingsbasis biedt.

Van	Naar	Vermenigvuldig met
ppm NO _x	mg/Nm ³	2,0526
ppm SO ₂	mg/Nm ³	2,8282
ppm CO	mg/Nm ³	1,2373
ppm CH ₄	mg/Nm ³	0,7071
ppm HC	mg/Nm ³	0,5745
ppm NO _x	mg/Nm ³	2,0526
mg/Nm ³ bij 0% O ₂	mg/Nm ³ bij 3% O ₂	0,8568
mg/Nm ³ bij 3% O ₂	mg/Nm ³ bij 3% O ₂	1,0000
mg/Nm ³ bij 5% O ₂	mg/Nm ³ bij 3% O ₂	1,1254
mg/Nm ³ bij 6% O ₂	mg/Nm ³ bij 3% O ₂	1,2007
mg/Nm ³ bij 11% O ₂	mg/Nm ³ bij 3% O ₂	1,8040
mg/Nm ³ bij 13% O ₂	mg/Nm ³ bij 3% O ₂	2,2579
mg/Nm ³ bij 0% O ₂	mg/Nm ³ bij 6% O ₂	0,7136
mg/Nm ³ bij 3% O ₂	mg/Nm ³ bij 6% O ₂	0,8329
mg/Nm ³ bij 5% O ₂	mg/Nm ³ bij 6% O ₂	0,9373
mg/Nm ³ bij 6% O ₂	mg/Nm ³ bij 6% O ₂	1,0000
mg/Nm ³ bij 11% O ₂	mg/Nm ³ bij 6% O ₂	1,5025
mg/Nm ³ bij 13% O ₂	mg/Nm ³ bij 6% O ₂	1,8805
mg/kWh	g/GJ	0,2777
mg/MJ	g/GJ	1
ton/PJ	g/GJ	1
g/GJ aardgas (NL)	mg/Nm ³ bij 3% O ₂	3,568
g/GJ huisbrandolie	mg/Nm ³ bij 3% O ₂	3,484
g/GJ LPG	mg/Nm ³ bij 3% O ₂	3,536
g/GJ steenkool	mg/Nm ³ bij 6% O ₂	2,769
g/GJ hout (van 19,65 MJ/kg)	mg/Nm ³ bij 6% O ₂	2,954