

FINALE DRAFT

Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor huishoudelijke houtverwarming

Greet Janssens, Kristof Custers, Diane Huybrechts

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

Maart 2020



VITO NV

Boeretang 200 - 2400 MOL - BELGIE
Tel. + 32 14 33 55 11 - Fax + 32 14 33 55 99
vito@vito.be - www.vito.be

BTW BE-0244.195.916 RPR (Turnhout)
Bank 375-1117354-90 ING
BE34 3751 1173 5490 - BBRUBEBB

De gegevens uit deze studie zijn geactualiseerd tot februari 2020.

INLEIDING

Voor u ligt één van de BBT-studies die worden gepubliceerd door het BBT-kenniscentrum. Dit sectorrapport behandelt de Beste Beschikbare Technieken voor huishoudelijke houtverwarming.

→ Wat zijn BBT-studies?

De BBT-studies zijn rapporten die per sector de BBT beschrijven. Deze sectorrapporten worden digitaal (<http://www.emis.vito.be>) verspreid, zowel naar de overheid als naar de bedrijven.

→ Wat zijn BBT?

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

→ Wat is het BBT-kenniscentrum?

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

Het BBT-kenniscentrum wordt, samen met het zusterproject EMIS (<http://www.emis.vito.be>) gefinancierd door het Vlaamse Gewest. Het kenniscentrum wordt begeleid door een stuurgroep die wordt voorgezeten door het Departement Omgeving, afdeling Gebiedsontwikkeling, Omgevingsplanning en -projecten (GOP). De andere betrokken entiteiten in het beleidsdomein (diverse afdelingen van het Departement Omgeving en de Vlaamse Milieumaatschappij, OVAM, VEA, VLM) zetelen eveneens in de stuurgroep.

→ Waarom zijn BBT-studies nuttig?

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

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

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

Huishoudelijke houtverbranding is geen ingedeelde activiteit in VLAREM, waardoor er ook geen sprake is van vergunningsvoorwaarden. Dit neemt niet weg dat het ook voor deze activiteit zinvol is om de BBT te bepalen. Kennis van de BBT laat de betrokken beleidsmakers, fabrikanten, installateurs, gebruikers en andere betrokken actoren immers toe om beter onderbouwde maatregelen te nemen om de milieu-impact van huishoudelijke houtverwarming te reduceren.

→ Hoe kwam deze studie tot stand?

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

Voor de wetenschappelijke begeleiding van de studie werd een begeleidingscomité samengesteld met vertegenwoordigers van industrie en overheid. Dit comité kwam 3 keer samen om de studie inhoudelijk te sturen (op 15/03/2019, 20/06/2019, 27/01/2020). De namen van de leden van dit comité en van de externe deskundigen die aan deze studie hebben meegewerkt, zijn opgenomen in bijlage 1. Het BBT-kenniscentrum heeft, voor zover mogelijk, rekening gehouden met de opmerkingen van de leden van het begeleidingscomité. Dit rapport is echter geen compromistekst. Het weerspiegelt de technieken die het BBT-kenniscentrum op dit moment als actueel beschouwt en de aanbevelingen die daaraan beantwoorden.

LEESWIJZER

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

Hoofdstuk 2 beschrijft de activiteit huishoudelijke houtverwarming en de belangrijkste socio-economische en milieujuridische aspecten.

In **Hoofdstuk 3** worden het proces van houtverbranding en de gebruikte brandstoffen en toestellen beschreven, en wordt nagegaan welke milieu-effecten optreden.

Hoofdstuk 4 geeft een overzicht van de technieken die toegepast kunnen worden om de milieuprestaties te verbeteren.

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

Hoofdstuk 6 gaat over aanbevelingen op basis van de BBT.

Hoofdstuk 7 ten slotte beschrijft de technieken in opkomst en omvat aanbevelingen voor verder onderzoek.

SAMENVATTING

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

Emissies door huishoudelijke houtverwarming hebben een negatieve impact op de luchtkwaliteit, voornamelijk tijdens het stookseizoen. Dit heeft mogelijks gezondheidseffecten tot gevolg, zowel voor gebruikers als in de omgeving. Ook kan er geur- en rookhinder zijn voor omwonenden. Om aan deze problematiek een oplossing te bieden werd in 2018 de Green Deal huishoudelijke houtverwarming ondertekend in Vlaanderen (<https://www.lne.be/green-deal-huishoudelijke-houtverwarming>). De BBT-studie wordt opgesteld in het kader van deze Green Deal, en meer specifiek in het kader van volgende 2 acties:

- onderzoek naar potentieel technologische verbeteringen voor nieuwe toestellen (actie 1.2.2)
- onderzoek naar haalbaarheid en potentieel van retrofitting van oude, vervuilende stooktoestellen (actie 1.1.2).

In de studie gaat de aandacht in de eerste plaats naar technieken (BBT) voor **ontwerp van nieuwe toestellen**. Toestellen worden zodanig ontworpen dat ze onder genormeerde testomstandigheden voldoen aan de geldende eisen inzake emissies en energie-efficiëntie. Milieuprestaties in reële gebruiksomstandigheden (onder wisselende en niet steeds optimale verbrandingscondities) zullen echter minder goed zijn dan deze die gemeten worden in labo's onder genormeerde testomstandigheden. Bij de BBT-evaluatie zijn daarom ook technieken onderzocht die de invloed van (foutief) gebruikersgedrag zoveel mogelijk uitschakelen (automatisering), waardoor de prestaties in reële omstandigheden minder sterk zullen afwijken van deze bij genormeerde testomstandigheden. De BBT-evaluatie is gebeurd op het niveau van verschillende toesteltypes: stukhoutkachels, pelletkachels, accumulatiekachels, stukhoutketels en pelletketels, waarbij ook rekening is gehouden met de beoogde toepassing (hoofdverwarming versus sfeer- of bijverwarming). Voor een overzicht van de technieken die voor elk van deze toesteltypes als BBT zijn geëvalueerd, wordt verwezen naar Tabel 32. Voor open haarden zijn geen technieken (BBT) beschikbaar om het verbrandingsproces te optimaliseren en/of emissies te reduceren waardoor de emissies zeer hoog zijn en het energetisch rendement laag. Het gebruik van open haarden wordt om deze reden niet als BBT beschouwd.

Ook de mogelijkheden voor **retrofit van bestaande toestellen** werden onderzocht. Twee belangrijke retrofitmogelijkheden zijn de installatie van een ESP (elektrofilter) en de installatie van een katalysator. Beide technieken kunnen helpen om de emissies van bestaande toestellen te reduceren. In vergelijking met de volledige vervanging van het bestaande toestel door een nieuw, performanter toestel, hebben deze maatregelen zowel voor- als nadelen, zoals aangegeven in Tabel 34. Zij worden daarom afhankelijk van de situatie wel of niet als BBT beschouwd, waarbij steeds een afweging met de vervanging door een nieuw toestel gemaakt moet worden.

Naast maatregelen voor ontwerp van nieuwe toestellen en retrofit van oude toestellen gaat in de studie ook aandacht naar maatregelen op gebied van **installatie en gebruik** van toestellen, en **onderhoud en nazicht/inspectie** van toestellen en rookgaskanaal. Deze maatregelen zijn van groot belang om de milieu-impact van huishoudelijke houtverwarming te reduceren, maar worden in deze studie minder in detail behandeld. Ze vormen het voorwerp van andere acties in het kader van de Green Deal huishoudelijke houtverwarming.

De BBT-selectie en de adviesverlening is tot stand gekomen op basis van literatuuronderzoek en overleg met vertegenwoordigers van de federaties, leveranciers, specialisten uit de administratie en andere deskundigen. Het formeel overleg gebeurde in een begeleidingscomité waarvan de samenstelling wordt gegeven in Bijlage 1.

ABSTRACT

p.m.

INHOUD

Inleiding	III
Leeswijzer	V
Samenvatting	VI
Abstract	VIII
Inhoud	IX
Lijst van tabellen	XII
Lijst van figuren	XIV
Lijst van afkortingen	XVI
Lijst van definities	XVII
HOOFDSTUK 1. Over deze BBT-studie	1
1.1. <i>Beste Beschikbare Technieken in Vlaanderen</i>	1
1.1.1. Definitie	1
1.1.2. Beste Beschikbare Technieken als begrip in het Vlaamse milieubeleid	1
1.2. <i>BBT-studie voor huishoudelijke houtverwarming</i>	2
1.2.1. Kader van de studie	2
1.2.2. Doelstellingen en scope van de studie	3
1.2.3. Inhoud van de studie	4
HOOFDSTUK 2. Socio-economische & milieujuridische situering van de sector	5
2.1. <i>Omschrijving, afbakening en indeling van de sector</i>	5
2.1.1. Afbakening van activiteit huishoudelijke houtverwarming	5
2.1.2. Technische indeling van de sector	5
2.2. <i>Socio-economische situering van de sector</i>	8
2.2.1. Huishoudelijke houtverwarming in Vlaanderen	8
2.2.2. Inventaris toestellen voor huishoudelijke houtverwarming in Vlaanderen	9
2.2.3. De kachel-/ketelmarkt in Vlaanderen	11
2.3. <i>Milieu-juridische situering van de sector</i>	13
2.3.1. Vlaamse regelgeving	13
2.3.2. Federale regelgeving	17
2.3.3. Europese Regelgeving	19
2.3.4. Buitenlandse regelgeving	24
2.3.5. Normen met eisen en beproevingsmethoden	28
2.3.6. Milieulabels	31
HOOFDSTUK 3. Procesbeschrijving en milieuaspecten	39
3.1. <i>Algemene aspecten en emissies van houtverbranding</i>	39
3.1.1. Het houtverbrandingsproces	39

3.1.2.	Emissievorming bij houtverbranding _____	40
3.1.3.	Voorwaarden voor volledige verbranding _____	43
3.1.4.	Factoren die de verbrandingskwaliteit en de emissies beïnvloeden _____	43
3.2.	<i>De gebruikte brandstoffen</i>	45
3.3.	<i>De gebruikte toestellen</i>	46
3.3.1.	Open Haarden _____	47
3.3.2.	Inzetkachel of cassette _____	47
3.3.3.	Inbouwkachel _____	49
3.3.4.	Voorzetkachel – niet accumulerend _____	50
3.3.5.	Accumulatiekachel _____	53
3.3.6.	Ketel _____	54
3.4.	<i>Milieu-aspecten</i>	55
3.4.1.	Metten en rapporteren van emissies en energie-efficiëntie _____	55
3.4.2.	Milieuprestaties van nieuwe toestellen volgens genormeerde testprocedures ____	58
3.4.3.	Emissies in reële omstandigheden versus emissies volgens genormeerde testprocedures _____	59
3.4.4.	Emissiefactoren gebruikt voor emissieinventarissen _____	71
3.4.5.	Globale impact van huishoudelijke houtverbranding _____	75
HOOFDSTUK 4.	Beschikbare milieuvriendelijke technieken _____	77
4.1.	<i>Ontwerp van nieuwe toestellen – Primaire maatregelen</i>	77
4.1.1.	Vlamkeerplaat _____	78
4.1.2.	Rooster in de verbrandingskamer _____	79
4.1.3.	Isolatie van de verbrandingskamer(s) _____	81
4.1.4.	Gebruik van hitte reflecterend materiaal in de verbrandingskamer _____	82
	Er zijn geen financiële gegevens gekend. Echter het gebruik van hitte reflecterend materiaal vergt een extra investering voor het desbetreffende materiaal. _____	82
4.1.5.	Glasraam met beperkt oppervlak en dubbel, driedubbel of gecoat glas. _____	83
4.1.6.	Vorm verbrandingskamer _____	83
4.1.7.	Aanwezigheid van een 2e verbrandingskamer of verbrandingszone/-kanaal voor de naverbranding _____	84
4.1.8.	Getrapte luchttoevoer _____	86
4.1.9.	Sturing luchttoevoer – monoregeling luchttoevoer _____	87
4.1.10.	Sturing luchttoevoer - Automatisch regeling van luchttoevoer en luchtcirculatie _	88
4.1.11.	Luchtdichte uitvoering van het toestel _____	90
4.1.12.	Voorverwarming secundaire toevoerlucht verbranding _____	91
4.1.13.	Warmterecuperatiesysteem rookgassen _____	91
4.1.14.	Aanbieden vantoestellen in verschillende vermogensklassen – en bereiken ____	93
4.1.15.	Automatische brandstoftoevoer _____	94
4.1.16.	Geavanceerde controle verbrandingsproces op basis van de kamertemperatuur en weersomstandigheden _____	96
4.2.	<i>Ontwerp van nieuwe toestellen – Secundaire maatregelen</i>	96
4.2.1.	Katalysator _____	96
4.2.2.	Elektrofilter _____	102
4.3.	<i>Bestaande toestellen – Primaire maatregelen</i>	104
4.4.	<i>Bestaande toestellen – Secundaire maatregelen</i>	105
4.4.1.	Katalysator _____	105
4.4.2.	Elektrofilter _____	107

4.5.	<i>Installatie van toestellen</i>	117
4.5.1.	Keuze van het toestel in functie van de behoefte	117
4.5.2.	Goede plaatsing van het toestel	117
4.5.3.	Externe luchttoevoer	118
4.5.4.	Goede plaatsing van het rookgaskanaal	120
4.5.5.	Isolatie rookgaskanaal	121
4.5.6.	Geforceerde trek voor voldoende luchttoevoer in de verbrandingskamer	122
4.5.7.	Plaatsing door een deskundige installateur	123
4.5.8.	Droge en verluchte opslagruimte voor hout voorzien (binnen of buiten)	123
4.6.	<i>Gebruik van toestellen</i>	124
4.6.1.	Opvolgen van stooktips	124
4.6.2.	Houtverbranding beperken bij hoge fijn stofconcentraties en ongunstige weersomstandigheden	125
4.6.3.	Instructies fabrikant volgen	126
4.7.	<i>Onderhoud van toestellen en rookgaskanaal</i>	127
4.7.1.	Regelmatig onderhoud toestel + rookgaskanaal	127
4.8.	<i>Resultaten bevraging</i>	128
4.8.1.	Houtgestookte toestellen	128
4.8.2.	Pelletgestookte toestellen	133
HOOFDSTUK 5.	Selectie van de beste beschikbare technieken	137
5.1.	<i>Evaluatie van de beschikbare milieuvriendelijke technieken</i>	137
5.2.	<i>Conclusies</i>	151
5.2.1.	BBT voor het ontwerp van nieuwe toestellen	151
5.2.2.	BBT voor installatie van toestellen	157
5.2.3.	BBT voor gebruik van toestellen	157
5.2.4.	BBT voor onderhoud van toestellen en rookgaskanaal	158
5.2.5.	BBT voor bestaande toestellen (retrofit)	158
HOOFDSTUK 6.	Aanbevelingen op basis van de beste beschikbare technieken	161
HOOFDSTUK 7.	Technieken in opkomst	163
7.1.	<i>Technieken in opkomst</i>	163
7.2.	<i>Aanbevelingen voor verder onderzoek en technologische ontwikkeling</i>	163
HOOFDSTUK 8.	Bibliografie	165
Bijlage 1:	Medewerkers van de BBT-studie	169
Bijlage 2:	Finale opmerkingen	171
Bijlage 3:	Excel bestand 'concordantietabel'	172
Bijlage 4:	Excel bestand 'Overzicht normen'	173
Bijlage 5:	Resultaten bevraging	174

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1: Prijsklassen voor nieuwe toestellen volgens bevraging fabrikanten/invoerders, afgerond op 500 EURO	12
Tabel 2: Prijsklassen voor nieuwe toestellen volgens Livios, inclusief plaatsing, afgerond op 500 EURO	12
Tabel 3: Prijsklassen voor nieuwe toestellen, exclusief plaatsing (Ademe, 2018)	12
Tabel 4: Verplichtingen opgelegd door het stooktoestellenbesluit aan eigenaars en gebruikers van centrale stooktoestellen met vaste brandstoffen (inclusief hout)	15
Tabel 5: Fase III eisen voor verwarmingsapparaten voor vaste brandstoffen uit het Koninklijk Besluit verwarmingsapparaten	17
Tabel 6: Energie-efficiëntieklassen voor toestellen voor lokale ruimteverwarming (verordening (EU) 2015/1186) en voor verwarmingsketels op vaste brandstoffen (verordening (EU) 2015/1187)	20
Tabel 7: Eisen inzake ecologisch ontwerp van toestellen voor huishoudelijke houtverwarming ⁽¹⁾	22
Tabel 8: Indicatieve benchmarks voor best presterende toestellen voor huishoudelijke houtverwarming	23
Tabel 9: Voorbeelden van bestaande toestellen met 'goede combinaties'	24
Tabel 10: Emissie-eisen en energie-efficiëntie eisen uit de 1. BImSchV	25
Tabel 11: Emissie-eisen voor houtgestookte toestellen < 50 kW uit de Vereinbarung Art 15a B VG - Inverkehrbringen von Kleinfeuerungen	27
Tabel 12: Criteria voor energie-efficiëntie en seizoensgebonden emissies voor het Europese Ecolabel	31
Tabel 13: Criteria voor energie-efficiëntie en emissies voor Der Blauer Engel	33
Tabel 14: Criteria voor energie-efficiëntie en emissies voor de Nordic Swan	34
Tabel 15: Criteria voor energie-efficiëntie en emissies voor het Umweltzeichen 37	36
Tabel 16: Criteria voor energie-efficiëntie en emissies voor Flamme Verte	37
Tabel 17: Overzicht van emissiecijfers uit diverse literatuurbronnen voor verschillende types toestellen (op basis van (Tytgat, Walpot, Cools, & Lenaerts, 2017))	60
Tabel 18: Gemiddelde meetwaarden voor 13 houtkachels volgens het BeReal project	64
Tabel 19: Gemiddelde meetwaarden voor 4 pelletkachels volgens het BeReal project	64
Tabel 20: Overzicht van gemiddelde meetresultaten (Ademe - Ineris, 2016)	69
Tabel 21: Emissiefactoren voor huishoudelijke houtverwarming volgen (European Environment Agency, 2019)	71
Tabel 22: Emissiefactoren voor huishoudelijke houtverwarming gebruikt door VMM voor opmaak van de emissieinventaris lucht	72
Tabel 23: Vergelijking emissiefactoren VMM-EMEP	74
Tabel 24: resultaten katalysator als retrofit (Leveranciersinformatie katalysator, 2019)	106
Tabel 25: Overzicht van fijn stof verwijderingsrendementen van een ESP	112
Tabel 26: Emissiecijfers op basis van bevraging voor stooktoestellen	131
Tabel 27: Emissiecijfers van stooktoestellen uit de bevraging met prestaties beter dan het voorbeeld van goede combinatie uit de Ecodesign richtlijn	132
Tabel 28: Emissiecijfers op basis van bevraging voor pelletkachels	134
Tabel 29: Emissiecijfers op basis van bevraging voor pelletketels	135
Tabel 30: Emissiecijfers van pelletkachels uit de bevraging met prestaties beter dan het voorbeeld van goede combinatie uit de Ecodesign richtlijn	136
Tabel 31: Evaluatie van beschikbare milieuvriendelijke technieken en selectie van BBT	142
Tabel 32: Overzicht van de BBT en BBT vgtg (van geval tot geval) per type toestel	152
Tabel 33: Milieuprestaties volgens Ecodesign verordeningen (emissies @13% O ₂ voor kachels en @10% O ₂ voor ketels)	156

Tabel 34: Voor- en nadelen van opties voor een oud, vervuilend toestel _____ 158

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1: technische indeling huishoudelijke houtverwarming	6
Figuur 2: Evolutie van het huishoudelijk energieverbruik (Jespers, Neven, Renders, Vingerhoets, & Pelgrims, 2019)	9
Figuur 3: Verdeling van installaties volgens type, resultaten van enquêtering (Veldeman Nele, 2019)	10
Figuur 4: Verdeling van installaties volgens leeftijd, resultaten van enquêtering (Veldeman Nele, 2019)	10
Figuur 5: Label CE markering	20
Figuur 6: Energielabels volgens EU 2015/1186 (kachels, links) en EU 2015/1187 (ketels, rechts)	21
Figuur 7: Europees ecolabel	31
Figuur 8: Label van Der Blauer Engel	32
Figuur 9: Label van de Nordic Swan	34
Figuur 10: Label van Umweltzeichen 37	35
Figuur 11: 7-sterren label van Flamme Verte	37
Figuur 12: Vorming van emissies bij biomassaverbranding (Nussbaumer, 2017)	41
Figuur 13: Inzethaard (Ademe, 2018)	48
Figuur 14: Inbouwkachel (Ademe, 2018)	49
Figuur 15: Principe van opwaartse trek (European Commission DG TREN, 2009)	51
Figuur 16: Principe van neerwaartse trek (Ademe, 2018)	52
Figuur 17: Pelletketel met opslag in silo	55
Figuur 18: Boxplot overzicht van PM-emissiecijfers (aantallen tussen haakjes) uit diverse literatuurbronnen voor verschillende types toestellen, categorieën aangeduid met * bevatten outliers boven de 1000 mg/MJ (Tytgat, Walpot, Cools, & Lenaerts, 2017)	62
Figuur 19: Gemiddelde meetwaarden bij testen op 2 moderne stookhoutketels (Kindbom, et al., 2017)	67
Figuur 20: Gemiddelde meetwaarden bij testen op 2 moderne houtkachels (Kindbom, et al., 2017) (NOM = nominale belasting, HIGH = hoge belasting, PART = deellast, SLW= standaard houtblok, DLW = droog houtblok, MLW = vochtig houtblok)	67
Figuur 21: De vlamkeerplaat in de kachel zorgt ervoor dat de warme gassen niet rechtstreeks in het rookgaskanaal verloren gaan (Van Walsem Kachelspecialist, 2019)	79
Figuur 22: Voorbeeld van een rooster in de verbrandingskamer van een open haard (Werkspot, 2010)	80
Figuur 23: Isolatie van een houtkachel met vuurvaste keramische bemanteling (Stokertje, 2019)	81
Figuur 24: Schematische weergave van een secundaire verbrandingszone in een kachel (Plomp, 2017)	85
Figuur 25: Voorbeeld van het aansluiten van de warme rookgassen op de centrale verwarming (retourleiding in het blauw is optioneel) (DDG, 2019)	92
Figuur 26: Pelletkachel met automatische toevoer van pellets met een intern opslagvat (Omniconfort, 2019)	95
Figuur 27: Werking van een katalysator en omzetting van vervuilende stoffen (Cork, 2013)	97
Figuur 28: Keramische katalytische houtverbranding met bypass (Firecat, 2019)	98
Figuur 29: Werkingsprincipe van een geïntegreerde ESP in een pelletketel (ETA Heiztechnik GmbH, 2019)	103
Figuur 30: ABCAT katalysator ingebouwd als retrofit (Leveranciersinformatie katalysator, 2019)	105
Figuur 31: Werkingsprincipe van een ESP (Leveranciersinformatie elektrofilter, 2019)	108
Figuur 32: Weergave van een ESP gemonteerd op de monding van de schouw (Leveranciersinformatie elektrofilter, 2019)	109

Figuur 33: ESP gemonteerd in het rookgaskanaal (3 varianten) (Leveranciersinformatie elektrofilter, 2019)	109
Figuur 34: Elektrodeklem van de Zumikon ESP, gedemonteerd voor reiniging na gebruik (Hartmann, Turowski, & Kiener, 2010)	115
<i>Figuur 35: Illustratie van een externe luchttoevoer (blauwe pijlen) bij een houtkachel (123-Kaminofen, 2019)</i>	119
Figuur 36: Selectie van BBT op basis van scores voor verschillende criteria	140

LIJST VAN AFKORTINGEN

BBT	Beste Beschikbare Technieken
BC	Black Carbon (indicator voor roet, gemeten dmv lichtabsorptie)
COC	Condensable Organic Compounds – Condenseerbare organische stoffen
CV	Centrale Verwarming
EC	Elemental Carbon (indicator voor roet, gemeten dmv een thermisch-optische methode)
EF	Emissie Factor
EKG	Departement Omgeving, afdeling Energie, Klimaat en Groene Economie
EN	Europese Norm
ESP	Electrostatic Precipitator (elektrofilter)
FSC	Forest Stewardship Council
GOP	Departement Omgeving, afdeling Gebiedsontwikkeling, Omgevingsplanning en -projecten
HC	Koolwaterstoffen
IPPC	Integrated Pollution Prevention and Control
NACE	Nomenclature statistique des Activités économiques dans la Communauté Européenne
NBN	(Norm van het Belgische)Bureau voor Normalisatie
NMVOS	Niet-methaan Vluchtige Organische Stoffen
OGC	Organic gaseous carbon
OVAM	Openbare Vlaamse Afvalstoffen Maatschappij
PAK's	Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen
PCDDF	Dioxines en furanen
PEFC	Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes
PM	Particulate Matter
POA	Primaire organische aerosolen
ppm	Parts per million
SOA	Secundaire Organische Aerosolen
TSP	Total suspended particles
VEA	Vlaams Energie Agentschap
vgtg	Van geval tot geval
VLM	Vlaamse Land Maatschappij
VMM	Vlaamse Milieu Maatschappij
VOS	Vluchtige Organische Stoffen

LIJST VAN DEFINITIES

Opmerking:

Deze tabel bevat definities zoals ze zijn opgenomen in de van toepassing zijnde regelgeving (= Bron)¹. Onderdelen van definities die betrekking hebben op aspecten die niet onder de noemer 'huishoudelijke houtverwarming' en dus buiten de scope van de BBT-studie vallen, zijn [tussen haakjes] gezet.

Definities toestellen voor verwarming in het algemeen	
Huishoudelijke houtverwarming	heeft betrekking op stooktoestellen waarin hout kan gestookt worden voor lokale of centrale binnenshuis verwarming <i>Bron: Green Deal huishoudelijke houtverwarming</i>
Stooktoestel	technisch toestel waarin vaste [,vloeibare of gasvormige] brandstof verbrand wordt om de gegenereerde warmte te gebruiken voor ruimteverwarming en optioneel voor de aanmaak van warm verbruikswater <i>Bron: Stooktoestellenbesluit</i>
Verwarmingstoestel	voorzetkachel, inzetkachel, ketel-kachel, pellettoestel of ketel <i>Bron: KB verwarmingsapparaten 2010</i>
Definities toestellen voor lokale ruimteverwarming	
Toestel voor lokale ruimteverwarming dat vaste brandstoffen gebruikt	een ruimteverwarmingstoestel dat warmte afgeeft door directe warmteoverdracht of door directe warmteoverdracht in combinatie met warmteoverdracht aan een vloeistof, teneinde een bepaald niveau van warmtecomfort voor de mens te bereiken en te handhaven binnen de gesloten ruimte waarin het product zich bevindt, eventueel in combinatie met een bepaalde warmteafgifte naar andere ruimten, en dat uitgerust is met één of meer warmtegeneratoren die vaste brandstoffen op directe wijze omzetten in warmte <i>Bron: Verordening (EU) 2015/ 1185</i> <i>Analoge definitie in Verordening (EU) 2015/ 1186</i>
Toestel voor lokale ruimteverwarming met open voorkant dat vaste brandstoffen gebruikt	een toestel voor lokale ruimteverwarming dat vaste brandstoffen gebruikt, waarvan het verbrandingsbed en de verbrandingsgassen niet zijn afgesloten van de ruimte waarin het product is geplaatst en dat verbonden is met een opening voor een rookgaskanaal of open haard of dat een afvoerkanaal nodig heeft voor de afvoer van de verbrandingsproducten <i>Bron: Verordening (EU) 2015/ 1185</i> <i>Analoge definitie in Verordening (EU) 2015/ 1186</i>
Toestel voor lokale ruimteverwarming met gesloten voorkant dat	een toestel voor lokale ruimteverwarming dat vaste brandstoffen gebruikt, waarvan het verbrandingsbed en de verbrandingsgassen kunnen worden afgesloten van de ruimte waarin het product is geplaatst en dat verbonden is met een opening voor een

¹ Voor de definities in het KB verwarmingsapparaten 2010 wordt opgemerkt dat deze verwijzen naar EN normen die inmiddels geactualiseerd of vervangen zijn (met soms gewijzigd toepassingsgebied, ...). Bijv. definitie 'ketel': "Het vermogen van het toestel is lager of gelijk aan 300 kW. Het toestel voldoet aan de definities, vereisten, beproevingsmethoden en etikettering van de norm NBN EN 303-5 in zijn laatste uitgave": In de versie '1999' van norm NBN EN 303-5 was het toepassingsgebied beperkt tot ketels met een nominale warmteafgifte tot 300 kW. De nieuwe norm NBN EN 303-5: 2012 gaat tot 500 kW.

vaste brandstoffen gebruikt	rookgaskanaal of open haard of dat een afvoerkanaal nodig heeft voor de afvoer van de verbrandingsproducten <i>Bron: Verordening (EU) 2015/ 1185</i> <i>Analoge definitie in Verordening (EU) 2015/ 1186</i>
Voorzetkachel	huishoudelijk toestel dat wordt voorzien van een verbrandingskamer, die in normale toestand volledig met een kacheldeur is gesloten, dat warmte levert door middel van straling en/of convectie, op continue of niet continue wijze en dat warm water kan leveren indien het voorzien is van een warmtewisselaar. Het toestel voldoet aan de definitie, vereisten, beproevingsmethoden en etikettering van de norm NBN EN 13240 in zijn laatste uitgave <i>Bron: KB verwarmingsapparaten 2010</i>
Inzetkachel	huishoudelijk toestel dat warmte levert door middel van straling en/of convectie, op continue of niet continue wijze, dat ontworpen wordt om in een nis, een ruimte of in de verbrandingskamer van een open haard geplaatst te worden en dat warm water kan leveren indien het voorzien is van een warmtewisselaar. Het toestel voldoet aan de definities, vereisten, beproevingsmethoden en etikettering van de norm NBN EN 13229 in zijn laatste uitgave <i>Bron: KB verwarmingsapparaten 2010</i>
Ketel-kachel	huishoudelijk toestel dat warm water levert en dat warmte levert door middel van straling en/of convectie. Het vermogen van het toestel is lager of gelijk aan 50 kW. Het toestel voldoet aan de definities, vereisten, beproevingsmethoden en etikettering van de norm NBN EN 12809 in zijn laatste uitgave <i>Bron: KB verwarmingsapparaten 2010</i>
Pellettoestel	huishoudelijk toestel dat warmte levert door middel van straling en/of convectie, dat automatisch en enkel gevoed wordt door pellets en dat warm water kan leveren indien het voorzien is van een warmtewisselaar. Het vermogen van het toestel is lager of gelijk aan 50 kW. Het toestel voldoet aan de definities, vereisten, beproevingsmethoden en etikettering van de norm NBN EN 14785 in zijn laatste uitgave <i>Bron: KB verwarmingsapparaten 2010</i>
Accumulerend toestel	toestel dat voldoet aan de definities, vereisten, beproevingsmethoden en etikettering van de norm NBN EN 15250 in zijn laatste uitgave <i>Bron: KB verwarmingsapparaten 2010</i>
Open haard	huishoudelijk toestel, dat warmte levert door middel van straling en/of convectie en voorzien van een verbrandingskamer die niet afgesloten kan worden. Het toestel voldoet aan de definitie, vereisten, beproevingsmethoden en etikettering van de norm NBN EN 13229 in zijn laatste uitgave <i>Bron: KB verwarmingsapparaten 2010</i>
Definities toestellen voor centrale verwarming	
Centraal stooktoestel	een stooktoestel met een centrale stookketel, en, optioneel, een aparte brander, waarbij de gegenereerde warmte via een geleid en gekanaliseerd transportsysteem gedistribueerd wordt naar meerdere, afzonderlijke ruimten waar deze warmte aangewend

	wordt om het binnenklimaat van de betreffende ruimte te conditioneren en, optioneel, naar een voorziening voor de productie van warm verbruikswater <i>Bron: Stooktoestellenbesluit</i>
Ketel	huishoudelijk toestel dat enkel warmte levert door een warmtewisselaar die water gebruikt. Het toestel kan handmatig of automatisch van vaste brandstof voorzien worden. Het vermogen van het toestel is lager of gelijk aan 300 kW. Het toestel voldoet aan de definities, vereisten, beproevingsmethoden en etikettering van de norm NBN EN 303-5 in zijn laatste uitgave <i>Bron: KB verwarmingsapparaten 2010</i>
Verwarmingsketel voor vaste brandstoffen	een installatie uitgerust met een of meer met vaste brandstoffen gestookte verwarmingstoestellen die warmte levert aan een centraal verwarmingssysteem dat is gevuld met water, om de binnentemperatuur in een of meer gesloten ruimten op een gewenst niveau te brengen en te handhaven, met een warmteverlies aan de omringende lucht van niet meer dan 6 % van de nominale warmteafgifte <i>Bron: Verordening (EU) 2015/1189</i> <i>Analoge definitie in (EU) 2015/1187</i>
Warmtegenerator voor vaste brandstoffen	het onderdeel van een verwarmingsketel voor vaste brandstoffen dat warmte opwekt door verbranding van vaste brandstoffen <i>Bron: Verordening (EU) 2015/1189 en 1187</i>
Centraal verwarmingssysteem op basis van water	een systeem dat water als middel voor de warmteoverdracht gebruikt om centraal opgewekte warmte te distribueren over warmtelichamen voor ruimteverwarming in gebouwen, of delen daarvan; [met inbegrip van blok- of stadsverwarmingsnetwerken] <i>Bron: Verordening (EU) 2015/1189 en 1187</i>
Definities installatie van toestellen	
Rookgasafvoerkanaal	constructie, bedoeld voor het afvoeren van de rookgassen <i>Bron: Stooktoestellenbesluit</i>
Stooklokaal	het lokaal waarin het stooktoestel zich bevindt <i>Bron: Stooktoestellenbesluit</i>
Stooktoestel aangesloten als type B (open stooktoestel)	een stooktoestel aangesloten op een rookgasafvoerkanaal, waarbij de verbrandingslucht ontnomen wordt uit het stooklokaal <i>Bron: Stooktoestellenbesluit</i>
Stooktoestel aangesloten als type C (gesloten stooktoestel)	een stooktoestel, waarvan de verbrandingskamer gesloten is ten opzichte van het stooklokaal. De leidingen voor de aanvoer van de verbrandingslucht en de afvoer van de rookgassen en het eindstuk vormen een geheel met het toestel <i>Bron: Stooktoestellenbesluit</i>
Definities brandstoffen	
Aanbevolen vaste brandstof	brandstof van commerciële kwaliteit die in de werkingsinstructies van het toestel wordt aangehaald en die het mogelijk maakt om de prestaties te bereiken die bij de proeven worden aangekondigd, die in overeenstemming met de normen NBN EN 14961, NBN EN 14785, NBN EN 13240, NBN EN 13229, NBN EN 12809 en NBN EN 303-5 worden uitgevoerd

	Volgens deze normen en als voorbeeld kunnen de vaste brandstoffen houtblokken, houtkorrels (pellets), steenkolen, enz. zijn <i>Bron: KB verwarmingsapparaten 2010</i>
Af te raden vaste brandstof	brandstof die niet voorzien is door de fabrikant of zijn in de Europese Unie gevestigde gemachtigde of door de bevoegde dienst, en die door zijn gebruik de goede werking van het toestel kan schaden en gevaarlijke verontreinigende stoffen voor de gezondheid en het milieu kan uitstoten in de atmosfeer <i>Bron: KB verwarmingsapparaten 2010</i>
Houtpellets	hernieuwbare vaste gecompacteerd brandstof afkomstig van vermalen houtige biomassa, met of zonder organisch bindmiddel, meestal cilindervormig met een willekeurige lengte van 3,15 à 45 mm, en met afgebroken uiteinden <i>Bron: KB houtpellets 2011</i>
Houtachtige biomassa	biomassa afkomstig van bomen, heesters en struiken, met inbegrip van stamhout, verspaand hout, samengeperst hout in de vorm van pellets, samengeperst hout in de vorm van briketten, en zaagsel <i>Bron: Verordening (EU) 2015/1185</i> <i>Analoge definitie in Verordening (EU) 2015/1186, 1187 en 1189</i>
Voorkeursbrandstof	de enige brandstof die overeenkomstig de instructies van de fabrikant bij voorkeur moet worden gebruikt in het toestel voor lokale ruimteverwarming dat vaste brandstoffen gebruikt <i>Bron: Verordening (EU) 2015/1185</i> <i>Analoge definitie in Verordening (EU) 2015/1186, 1187 en 1189</i>
Andere geschikte brandstof	een andere brandstof dan de voorkeurbrandstof, die overeenkomstig de instructies van de fabrikant kan worden gebruikt in het toestel voor lokale ruimteverwarming dat vaste brandstoffen gebruikt, met inbegrip van elke brandstof die wordt vermeld in de gebruiksaanwijzing voor installateurs en eindgebruikers, op vrij toegankelijke websites van fabrikanten en leveranciers, in technisch promotiemateriaal en in advertenties <i>Bron: Verordening (EU) 2015/1185</i> <i>Analoge definitie in Verordening (EU) 2015/1186, 1187 en 1189</i>
Definities emissies	
Rookgassen (of verbrandingsproducten)	de gasvormige uitstoot van een stooktoestel als resultaat van de verbranding, met daarin vaste, vloeibare en gasvormige emissies <i>Bron: Stooktoestellenbesluit</i>
Zwevende deeltjes	deeltjes van diverse vorm, structuur en dichtheid, verspreid in de gasvormige fase van het rookgas <i>Bron: Verordening (EU) 2015/1185 en 1189</i>
Seizoensgebonden emissies	a) voor automatisch gestookte verwarmingsketels voor vaste brandstoffen: een gewogen gemiddelde van de emissies bij de nominale warmteafgifte en de emissies bij 30 % van de nominale warmteafgifte, uitgedrukt in mg/m ³ b) voor handmatig gestookte verwarmingsketels voor vaste brandstoffen die in continuumodus kunnen functioneren bij 50 % van de nominale warmteafgifte: een gewogen gemiddelde van de emissies bij de nominale warmteafgifte en de emissies bij 50 % van de nominale warmteafgifte, uitgedrukt in mg/m ³

	c) voor handmatig gestookte verwarmingsketels voor vaste brandstoffen die niet in continuumodus kunnen functioneren bij 50 % of minder van de nominale warmteafgifte: de emissies bij de nominale warmteafgifte, uitgedrukt in mg/m^3 d) voor verwarmingsketels voor vaste brandstoffen met warmtekrachtkoppeling: de emissies bij de nominale warmteafgifte, uitgedrukt in mg/m^3 <i>Bron: Verordening (EU) 2015/1189</i>
Definities energetisch rendement	
Nominaal vermogen	het maximale verwarmingsvermogen, uitgedrukt in kW, dat door de fabrikant voor continu gebruik is aangegeven en gegarandeerd, waarbij het door hem aangegeven nuttig rendement wordt gehaald <i>Bron: Stooktoestellenbesluit</i>
Verbrandingsrendement	het verbrandingsrendement, berekend volgens de formule van Siegert <i>Bron: Stooktoestellenbesluit</i>
Directe warmteafgifte	de warmteafgifte van het product via straling en convectie, als afgegeven door of vanuit het product aan de lucht, exclusief de warmteafgifte van het product aan een warmteoverdrachtsvloeistof, uitgedrukt in kW <i>Bron: Verordening (EU) 2015/1185 en 1186</i>
Indirecte verwarmingsfunctionaliteit	het product kan een deel van zijn totale warmteafgifte overdragen aan een warmteoverdrachtsvloeistof, ten behoeve van ruimteverwarming of waterverwarming voor huishoudelijke doeleinden <i>Bron: Verordening (EU) 2015/1185 en 1186</i>
Indirecte warmteafgifte	de warmteafgifte van het product aan een warmteoverdrachtsvloeistof via hetzelfde warmteopwekkingsproces dat zorgt voor de directe warmteafgifte van het product, uitgedrukt in kW <i>Bron: Verordening (EU) 2015/1186</i>
Nominale warmteafgifte	de opgegeven warmteafgifte van een toestel voor lokale ruimteverwarming dat vaste brandstoffen gebruikt, waarin vervat zowel de directe warmteafgifte als de indirecte warmteafgifte (wanneer van toepassing), wanneer dit toestel werkt op de stand voor de maximale warmteafgifte die over een langere periode kan worden gehandhaafd, als opgegeven door de fabrikant, uitgedrukt in kW <i>Bron: Verordening (EU) 2015/1185</i> <i>Analoge definitie in Verordening (EU) 2015/1186</i>
Nominale warmteafgifte	de aangegeven warmteafgifte van een verwarmingsketel voor vaste brandstoffen bij het voorzien van verwarming voor gesloten ruimten met de desbetreffende voorkeurbrandstof, uitgedrukt in kW <i>Bron: Verordening (EU) 2015/1189 en 1187</i>
Minimale warmteafgifte	de opgegeven warmteafgifte van een toestel voor lokale ruimteverwarming dat vaste brandstoffen gebruikt, waarin vervat zowel de directe warmteafgifte als de indirecte warmteafgifte (wanneer van toepassing), wanneer dit toestel werkt op de stand voor de laagste warmteafgifte, als opgegeven door de fabrikant, uitgedrukt in kW

		<i>Bron: Verordening (EU) 2015/1185</i> <i>Analoge definitie in Verordening (EU) 2015/1186</i>
Seizoensgebonden energie-efficiëntie voor ruimteverwarming		de verhouding tussen de ruimteverwarmingsvraag voor een bepaald verwarmingsseizoen, waaraan moet worden voldaan door een verwarmingsketel voor vaste brandstoffen, en het jaarlijkse energieverbruik dat nodig is om aan deze vraag te voldoen, uitgedrukt in %; <i>Bron: Verordening (EU) 2015/1189</i>

HOOFDSTUK 1. OVER DEZE BBT-STUDIE

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

1.1. BESTE BESCHIKBARE TECHNIEKEN IN VLAANDEREN

1.1.1. DEFINITIE

Het begrip “Beste Beschikbare Technieken”, afgekort BBT, wordt in VLAREM II , artikel 1.1.2, gedefinieerd als:

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

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

Deze definitie vormt het vertrekpunt om het begrip BBT concreet in te vullen voor de sector huishoudelijke houtverwarming in Vlaanderen.

1.1.2. BESTE BESCHIKBARE TECHNIEKEN ALS BEGRIP IN HET VLAAMSE MILIEUBELEID

→ Achtergrond bij begrip

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

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

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

- de toepassing van de BBT;
- de resterende milieu-effecten mogen geen afbreuk doen aan de vooropgestelde milieu-kwaliteitsdoelstellingen.

Ook de Europese Richtlijn Industriële Emissies (2010/75/EU) en haar voorganger, de “IPPC” Richtlijn (2008/1/EC), schrijven de lidstaten voor op deze twee pijlers te steunen bij het vastleggen van vergunningsvoorwaarden.

Huishoudelijke houtverbranding is geen ingedeelde activiteit in VLAREM, waardoor er ook geen sprake is van vergunningsvoorwaarden. Dit neemt niet weg dat het ook voor deze activiteit zinvol is om de BBT te bepalen. Kennis van de BBT laat de betrokken beleidsmakers, fabrikanten, installateurs, gebruikers en andere betrokken actoren immers toe om beter onderbouwde maatregelen te nemen om de milieu-impact van huishoudelijke houtverwarming te reduceren.

→ Concretisering van begrip

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

- “Beste” betekent “beste voor het milieu als geheel”, waarbij het effect van de beschouwde techniek op de verschillende milieucompartimenten (lucht, water, bodem, afval, ...) wordt afgewogen;
- “Beschikbare” duidt op het feit dat het hier gaat over iets dat op de markt verkrijgbaar en redelijk in kostprijs is. Het zijn dus technieken die niet meer in een experimenteel stadium zijn, maar effectief hun waarde in de praktijk bewezen hebben. De kostprijs wordt redelijk geacht indien deze haalbaar is voor een ‘gemiddelde’ gebruiker én niet buiten verhouding is tegenover het behaalde milieuresultaat;
- “Technieken” zijn technologieën én organisatorische maatregelen. Ze hebben zowel te maken met technische aanpassingen, het gebruik van minder vervuilende grondstoffen, end-of-pipe maatregelen, als met goede praktijken.

1.2. BBT-STUDIE VOOR HUISHOUDELIJKE HOUTVERWARMING

1.2.1. KADER VAN DE STUDIE

Huishoudelijke houtverwarming levert een bijdrage aan de doelstelling voor energieopwekking door hernieuwbare energiebronnen, maar is ook de oorzaak van een aantal problemen. Het stoken met hout geeft aanleiding tot emissies van verontreinigende stoffen zoals fijn stof, BC, dioxines, PAK's en

NMVOS. De emissies zijn hoger wanneer gestookt wordt in oudere en vervuilende toestellen, in slecht geïnstalleerde toestellen, bij slecht gebruik van toestellen en bij het stoken van onvoldoende droog hout. Emissies door huishoudelijke houtverwarming hebben een negatieve impact op de luchtkwaliteit, voornamelijk tijdens het stookseizoen, met mogelijks gezondheidseffecten tot gevolg, zowel voor gebruikers als in de omgeving. Ook kan er hinder zijn voor omwonenden.

Om aan deze problematiek een oplossing te bieden werd in 2018 de Green Deal huishoudelijke houtverwarming ondertekend (<https://www.lne.be/green-deal-huishoudelijke-houtverwarming>). Initiatiefnemers van de Green Deal zijn het Departement Omgeving en de beroepsfederatie Agoria-CIV. Samen met 21 andere partners, engageren zij zich om uitvoering te geven aan 27 acties die in de Green Deal zijn opgenomen. De doelstelling is om tegen 2030 de uitstoot van fijn stof, BC, dioxines, PAK's en NMVOS door huishoudelijke houtverwarming met minstens 50% te reduceren.

Deze BBT-studie wordt opgesteld in het kader van de Green Deal huishoudelijke houtverwarming, en meer specifiek in het kader van volgende 2 acties:

- onderzoek naar potentieel technologische verbeteringen voor nieuwe toestellen (actie 1.2.2)
- onderzoek naar haalbaarheid en potentieel van retrofitting van oude, vervuilende stooktoestellen (actie 1.1.2).

1.2.2. DOELSTELLINGEN EN SCOPE VAN DE STUDIE

Deze BBT-studie bevat een BBT-analyse voor huishoudelijke houtverwarming. Het doel van de studie bestaat erin om voor huishoudelijke houtverwarming:

- maatregelen te inventariseren die kunnen genomen worden om emissies en effecten op het milieu te voorkomen of te beperken;
- uit de geïnterviewde maatregelen de BBT (Beste Beschikbare Technieken) te selecteren;
- op basis van de BBT aanbevelingen te formuleren naar beleidsmakers, fabrikanten, installateurs, gebruikers en andere betrokken actoren.

De belangrijkste emissies binnen de scope van deze studie zijn emissies naar lucht (fijn stof, BC, CO, dioxines/PAK's, NMVOS). Ook het energetisch rendement vormt een aandachtspunt.

Qua verwarmingstechnologieën beperkt de studie zich tot toestellen die bedoeld zijn voor lokale of centrale binnenshuisverwarming met hout, en dit voor residentiële toepassingen (huishoudens). De diverse toesteltypen die binnen scope van de studie vallen, worden opgelijst in paragraaf 2.1. Toestellen op andere brandstoffen dan hout (bv. gaskachels of kolenkachels, stookolieketels, ...), of toestellen op hout met andere toepassingen dan huishoudelijke houtverwarming (bv. saunakachels, kookfornuizen, bakovens, verwarming buitenhuis, ...) vallen buiten scope van de studie.

De focus van de studie ligt op technieken en goede praktijken, niet op beleidsmaatregelen. Ook de overschakeling naar andere verwarmingstechnologieën ligt niet binnen de scope van deze studie.

Naast de maatregelen voor ontwerp van nieuwe toestellen en retrofit van oude toestellen, zal in de studie ook aandacht gaan naar maatregelen op gebied van installatie en gebruik van toestellen en onderhoud en nazicht/inspectie van toestellen en rookgaskanaal. Dit wordt echter minder in detail behandeld en zal het voorwerp vormen van andere acties in het kader van de Green Deal huishoudelijke houtverwarming.

1.2.3. INHOUD VAN DE STUDIE

Vertrekpunt van het onderzoek naar de Beste Beschikbare Technieken voor huishoudelijke houtverwarming is een socio-economische doorlichting (hoofdstuk 2).

In hoofdstuk 3 worden het proces van houtverbranding en de gebruikte brandstoffen en toestellen beschreven, en wordt nagegaan welke milieu-effecten optreden.

Op basis van een uitgebreide literatuurstudie, aangevuld met gegevens van federaties, leveranciers, specialisten uit de administratie en andere deskundigen, wordt in hoofdstuk 4 een inventaris opgesteld van milieuvriendelijke technieken voor huishoudelijke houtverwarming. Vervolgens, in hoofdstuk 5, vindt voor elk van deze technieken een evaluatie plaats, niet alleen van het globaal milieurendement, maar ook van de technische en economische haalbaarheid. Deze grondige afweging laat ons toe de Beste Beschikbare Technieken te selecteren.

De BBT zijn op hun beurt de basis voor een aantal suggesties voor beleidsmakers, fabrikanten, installateurs, gebruikers en andere betrokken actoren (hoofdstuk 6). In hoofdstuk 7 wordt er verder ingegaan op de technieken in opkomst en worden aanbevelingen voor verder onderzoek en technologische ontwikkeling geformuleerd.

Voor de opmaak van deze BBT-studie werd een groot aantal literatuurbronnen geraadpleegd. Deze zijn terug te vinden achteraan het rapport. Om de leesbaarheid van het rapport te verhogen is ervoor gekozen om de tekst zelf niet te overladen met bronvermeldingen. Enkel voor zeer specifieke informatie afkomstig van een specifieke bron, werden bronvermeldingen toegevoegd.

HOOFDSTUK 2. SOCIO-ECONOMISCHE & MILIEUJURIDISCHE SITUERING VAN DE SECTOR

In dit hoofdstuk geven we een situering en doorlichting van de activiteit huishoudelijke houtverwarming, zowel socio-economisch als milieu-juridisch.

Vooreerst trachten we de activiteit te omschrijven en het onderwerp van studie zo precies mogelijk af te bakenen. Vervolgens bespreken we een aantal relevante socio-economische aspecten. In een derde paragraaf gaan we dieper in op de belangrijkste milieu-juridische aspecten.

2.1. OMSCHRIJVING, AFBAKENING EN INDELING VAN DE SECTOR

2.1.1. AFBAKENING VAN ACTIVITEIT HUISHOUDELIJKE HOUTVERWARMING

De BBT-studie voor huishoudelijke houtverwarming is gericht op de verbranding van hout in toestellen voor lokale of centrale binnenshuisverwarming, en dit voor residentiële toepassingen (huishoudens). Toestellen op andere brandstoffen dan hout (bv. gaskachels of kolenkachels, stookolieketels, ...), of toestellen op hout met andere toepassingen dan huishoudelijke houtverwarming (bv. saunakachels, kookfornuizen, bakovens, verwarming buitenhuis, ...) vallen buiten scope van de studie.

2.1.2. TECHNISCHE INDELING VAN DE SECTOR

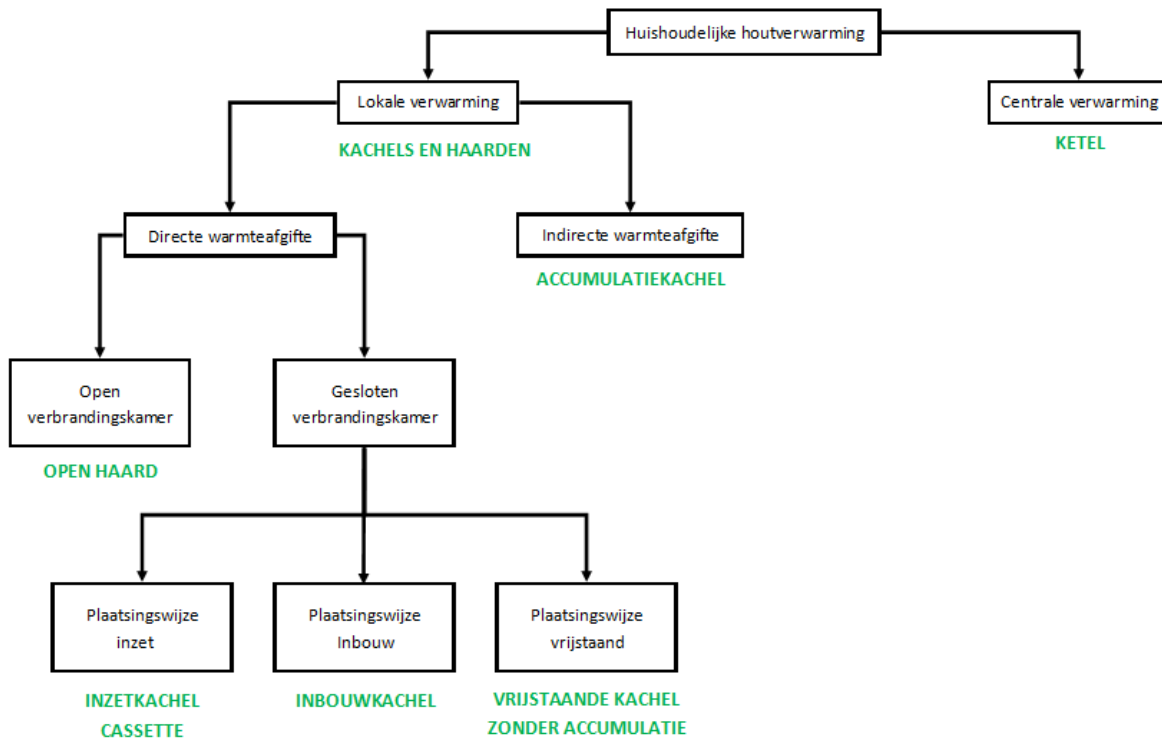
Voor de indeling van de toestellen zijn er verschillende benaderingen mogelijk. In de concordantietabel (Excel bestand als bijlage 3 bij deze studie) is een overzicht gegeven van een aantal gebruikte indelingen en de onderlinge overeenkomsten. De opgenomen indelingen zijn deze volgens de diverse regelgevingen besproken in paragraaf 2.3 (EN normen, KB, ecodesign, Duitsland, Oostenrijk, Denemarken en Energie-etikettering). Verder in de BBT studie zal er in hoofdzaak gebruik gemaakt worden van de volgende indeling:

- Open haard
- Inzetkachel of cassette
- Inbouwkachel
- Voorzetkachel – niet accumulerend
- Accumulatiekachel
- Ketel

Een uitgebreide beschrijving van deze toesteltypes komt aan bod in paragraaf 3.3.

De diverse indelingen zijn gebaseerd op meerdere criteria. De belangrijkste criteria worden hieronder kort beschreven:

- Lokale warmteafgifte versus centrale verwarming
- Directe of indirecte warmteafgifte
- Open of gesloten verbrandingskamer
- Plaatsingswijze



Figuur 1: technische indeling huishoudelijke houtverwarming

Een eerste onderscheid kan gemaakt worden op basis van de **plaats van warmteafgifte**. Indien de warmte wordt afgegeven aan de ruimte waarin het toestel zich bevindt, spreekt men van **lokale ruimteverwarming**. De term **centrale verwarming** is van toepassing indien de warmte gebruikt wordt om andere ruimtes te verwarmen. Het onderscheid tussen ketels en kachels/haarden is volledig gebaseerd op dit criterium, ketels staan in voor centrale verwarming, kachels/haarden voor lokale ruimteverwarming (zie ook Lijst Definities vooraan in het rapport).

Daarnaast wordt er een onderscheid gemaakt tussen **directe en indirecte warmteafgifte** waarbij de directe warmteafgifte deze via convectie of straling omvat en indirecte warmteafgifte de systemen waarbij de warmte tijdelijk wordt opgeslagen in een tussenmedium. Bij ketels wordt de warmte via een warmtewisselaar overgedragen aan een tussenmedium als water of lucht om vervolgens andere ruimten te gaan verwarmen. Accumulatiekachels vangen de warmte tijdelijk op in een vast tussenmedium als steen om deze gefaseerd in de ruimte af te geven. Bij de overige kachels en haarden wordt de warmte direct (via convectie en/of straling) afgegeven in de ruimte. Sommige kachels hebben eveneens de mogelijkheid om ook aangesloten te worden op een CV-installatie om bijkomend aan de lokale ruimteverwarming ook warmte af te geven in andere ruimtes.

Het criterium of de **verbrandingskamer al dan niet afgesloten** is vormt de basis voor het onderscheid tussen een open haard en alle andere toestellen voor huishoudelijke houtverwarming. Een open haard heeft een open voorkant. Bij kachels en ketels is de verbrandingskamer afgesloten. Een uitzondering hierop vormen de zogenaamde liftdeurhaarden. Deze kachels met (glazen) deur kunnen zowel in open, halfopen als in gesloten toestand gebruikt worden en vormen een alternatief voor een echte open haard.

Het onderscheid tussen verschillende types kachels is verder gebaseerd op **de plaatsingswijze**. Een voorzetkachel is een vrijstaand toestel dat op de vloer geplaatst wordt. Een inzetkachel/cassette is geïntegreerd in een bestaande schoorsteenopening of een schoorsteenbehuizing/wand. Bij een inbouwkachel wordt de schouw om het toestel heen gebouwd (voornamelijk nieuwbouw of grondige renovatie).

Binnen de verschillende type toestellen kan nog verder onderscheid gemaakt worden op basis van ondermeer volgende criteria:

- Type brandstof
- Brandstoftoevoer
- Continue of niet continue systemen
- Luchtdichtheid: open of gesloten ten opzichte van de woonruimte
- Automatisatie luchttoevoer
- Overige indelingen: leeftijd, toepassing en vermogen

Bij alle toesteltypes kan er een onderscheid gemaakt worden op basis van de **aard van de aanbevolen brandstof** (houtblokken, pellets, briketten, spaanders). In open haarden kunnen enkel houtblokken gebruikt worden. Bij kachels en ketels wordt er een onderscheid gemaakt tussen de stookhoutgestookte systemen (houtblokken, briketten en in geval van een ketel ook spaanders) en de pelletgestookte systemen. Daarnaast zijn er ook toestellen op de markt die ontworpen zijn om zowel pellets als stookhout te stoken. Deze toestellen zijn gebaseerd op een pellettoestel met extra rooster voor stookhout. De verbrandingskamer is geoptimaliseerd voor stookhout waardoor er een beperkt rendementsverlies is voor pellets.

Aansluitend hierbij is de **al dan niet automatische toevoer van brandstof**. Pellettoestellen hebben steeds een automatische brandstoftoevoer. Zij beschikken ofwel over een lokale opslag in het toestel zelf die regelmatig (dagelijks) bijgevuld moet worden of kunnen, in geval van ketels, aangesloten zijn op een grotere silo. Bij stookhoutgestookte toestellen is de brandstoftoevoer grotendeels handmatig, ketels met een automatische toevoer van stookhout zijn mogelijk maar komen zeer beperkt voor.

Voor houtgestookte toestellen zonder automatische toevoer is ook het onderscheid belangrijk tussen toestellen geschikt voor **continu gebruik en niet continu gebruik**. Toestellen voor continu gebruik beschikken over de mogelijkheid om met een vrij grote houtbelading (7 à 8 kg hout) relatief lang te stoken. De verbrandingskamer is vrij hoog of diep en de luchthuishouding is zo geregeld dat de stapel hout traag afbrandt.

Vervolgens is nog het onderscheid tussen **gesloten en open ten opzichte van de woonruimte** zeer belangrijk. Toestellen die open zijn ten opzichte van de woonruimte halen de lucht voor de verbranding uit de woonruimte zelf. Dit vereist dat deze ruimte op zijn beurt ook de nodige lucht van buiten toegevoerd krijgt. Luchtdichte toestellen zijn gesloten ten opzichte van de woonruimte en zijn voorzien van een luchttoevoerkanaal.

Binnen de verschillende types toestellen kan nog onderscheid gemaakt worden op basis van toegepaste **automatisatie luchttoevoer** en bijhorende sturing. Over het algemeen geldt de regel dat hoe meer automatisatie, hoe minder invloed van de gebruiker. De meeste in omloop zijnde stookhouttoestellen zijn nog steeds voornamelijk manueel te regelen. Bepaalde fabrikanten bieden standaard semi-automatische toestellen aan waarbij een aantal handelingen overgenomen worden door mechanische regelingen (bv luchttoevoer bij opstart). Geleidelijk aan zullen deze toestellen

evolueren naar vol automatische sytsemen die elektronisch geregeld zijn. Pellettoestellen zijn reeds volautomatisch geregeld.

Naast de indeling op basis van de hierboven genoemde technische kenmerken, kunnen toestellen ook op andere manieren ingedeeld worden in klassen, bv. op basis van vermogen, toepassing of op basis van leeftijd van het toestel. Deze laatste indeling is, in combinatie met de technische indeling, relevant voor de opmaak van emissie-inventarissen (zie paragraaf 3.4.4). Indelingen op basis van toepassing (hoofd- of bijverwarming) of plaats van stoken (landelijke of stedelijke omgeving) zijn in dit kader ook relevant, maar deze hebben niet zozeer betrekking op het toestel zelf, wel op de manier waarop het gebruikt wordt. Dit geldt eveneens voor het vermogen dat afhankelijk is van het type woning (vrijstaand/rijwoning, oud/modern, ...) alsook van de te verwarmen ruimte(s). De meeste houtkachels hebben een vermogen van 8 à 10 kW, minder dan 6 kW is niet geschikt voor stukhout gezien het technisch te complex is en er onvoldoende hoge temperatuur gehaald wordt. Pelletkachels kunnen een lager vermogen hebben.

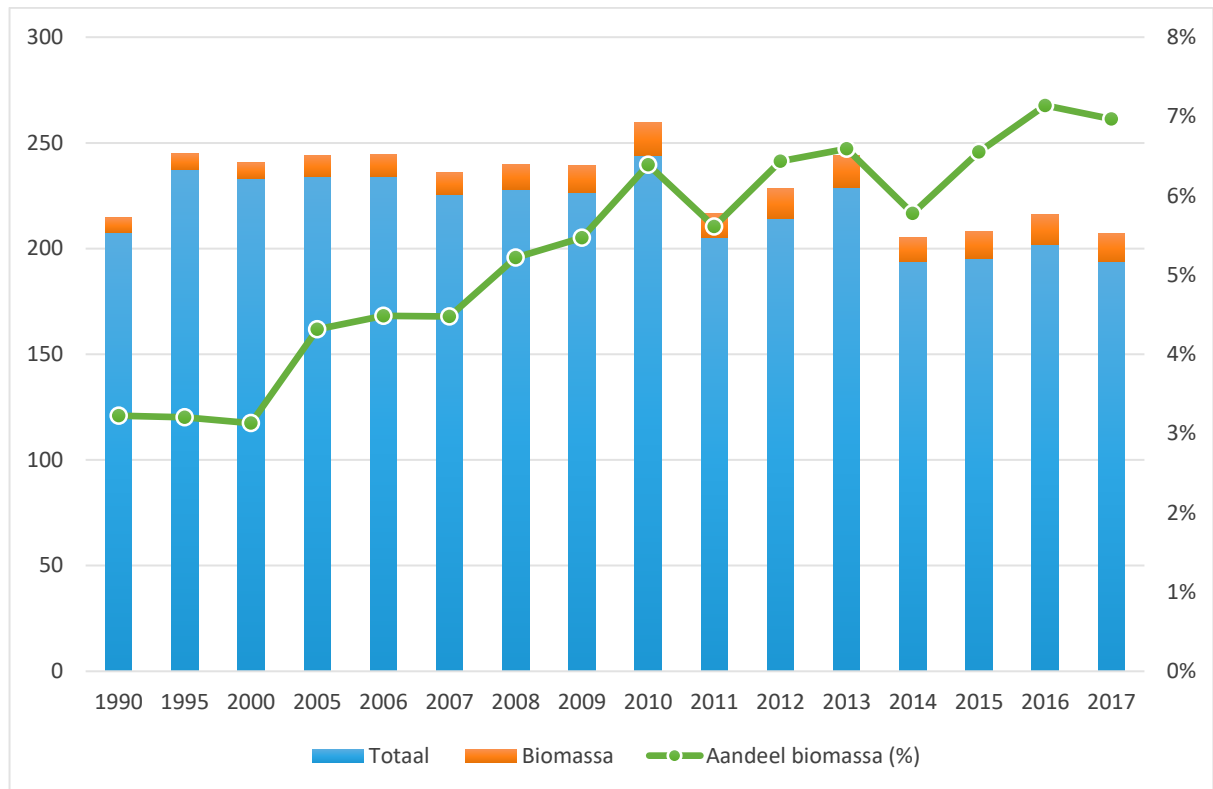
Voor meer informatie over de criteria en de link met de verschillende types toestellen wordt verwezen naar de hoofdstukken 3 & 4.

2.2. SOCIO-ECONOMISCHE SITUERING VAN DE SECTOR

2.2.1. HUISHOUDELIJKE HOUTVERWARMING IN VLAANDEREN

Voor cijfers over huishoudelijk houtverbruik in Vlaanderen verwijzen we naar de 'Energiebalans Vlaanderen 1990-2017 (Jespers, Neven, Renders, Vingerhoets, & Pelgrims, 2019)'. Dit rapport geeft op basis van de beschikbare databronnen een overzicht van de energiestromen, de productie en het verbruik van energie in Vlaanderen in 2017 en brengt de evoluties sinds 1990 in kaart.

Voor 2017 wordt het biomassaverbruik bij huishoudens geschat op 13,5 PJ. Het totale energieverbruik in huishoudens in 2017 wordt geschat op 193,9 PJ. De relatieve bijdrage van biomassa (hout) bedraagt dus ca. 7%. Onderstaande figuur geeft de evolutie van het huishoudelijk energieverbruik in de periode 1990-2017 voor hout en andere energiebronnen. Hieruit blijkt een geleidelijke toename van het aandeel hout in het totale energieverbruik door huishoudens.



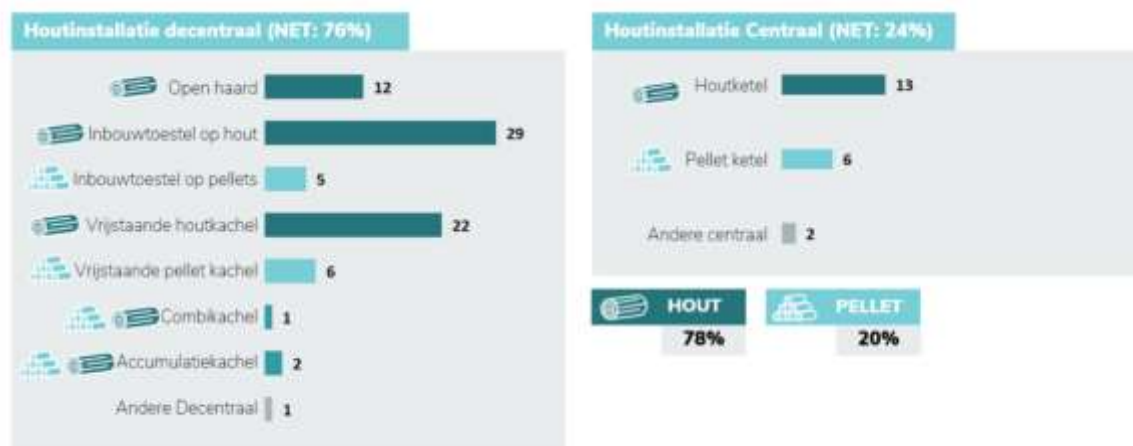
Figuur 2: Evolutie van het huishoudelijk energieverbruik (Jespers, Neven, Renders, Vingerhoets, & Pelgrims, 2019)

Hierbij wordt opgemerkt dat de inschattingen van het biomassaverbruik bij huishoudens in belangrijke mate gebaseerd zijn op een energie-enquête (ECS-enquête) bij huishoudens met gegevensjaar 2010. Dit brengt een belangrijke onzekerheid met zich mee. De jaarlijkse actualisatie van de balans houdt rekening met veranderingen in verstedelijingsgraad en graaddagen binnen Vlaanderen.

In 2019 werd in opdracht van VMM (Veldeman Nele, 2019) een online bevraging over huishoudelijke houtverwarming uitgevoerd op een steekproefgrootte van 596 effectieve houtstokers, die samen 715 houtinstallaties rapporteerden. Volgens de samenvatting van de enquêteresultaten maakt 21% van de Vlaamse huishoudens gebruik van hout als brandstof. Het gebruik van hout is hoger in landelijke gebieden. Hout wordt bijna uitsluitend in huizen gestookt. Vaak zijn dit oudere huizen, die eigendom zijn van de bewoner. Hout wordt vooral gestookt als bijverwarming, voor de gezelligheid. Een minderheid van 20% van de houtstokers geeft aan hout te stoken als hoofdverwarming.

2.2.2. INVENTARIS TOESTELLEN VOOR HUISHOUDELIJKE HOUTVERWARMING IN VLAANDEREN

Volgens de online bevraging in opdracht van VMM (Veldeman Nele, 2019) werd het totaal aantal toestellen in Vlaanderen op 700.000 geschat. De verdeling van de installaties volgens type en leeftijd, zoals gerapporteerd door de respondenten, is voorgesteld in Figuur 3 en Figuur 4.



Figuur 3: Verdeling van installaties volgens type, resultaten van enquêtering (Veldeman Nele, 2019)



Figuur 4: Verdeling van installaties volgens leeftijd, resultaten van enquêtering (Veldeman Nele, 2019)

Bij analyse van de uit de enquête bekomen gegevens (Veldeman Nele, 2019), werd het aandeel ketels in het Vlaamse ketel/kachelpark als onrealistisch hoog beschouwd, vooral omdat ook heel wat ketels ouder dan 20 jaar werden gerapporteerd. Bij eerdere studies is gebleken dat het erg moeilijk is om oude (> 20 jaar) Vlaamse houtketels te vinden. Daarom werd aangenomen dat er fouten zijn geslopen in de enquêteresultaten, bijvoorbeeld doordat respondenten de leeftijd voor een bestaande mazoutketel (ook centrale verwarming) hebben opgegeven of eerder een houtkachel (decentraal) i.p.v. een houtketel voor ogen hadden.

2.2.3. DE KACHEL-/KETELMARKT IN VLAANDEREN**→ Socio-economische situering van de sector**

De Vlaamse/Belgische sector van huishoudelijke houtverwarming (kachels/ketels) omvat verschillende soorten activiteiten. Een duidelijke afgebakende NACE code bestaat niet voor deze sector en de bedrijven actief in deze sector zijn in verschillende NACE codes ondergebracht, waardoor het maken van een allesomvattend economisch overzicht van de activiteiten moeilijk is. Een eerste groep bedrijven produceren en/of verdelen toestellen. Een tweede groep bedrijven zijn de installateurs die de toestellen uiteindelijk verkopen aan de consument en tevens ook zorgen voor de installatie. Daarnaast is er ook een directe verkoop van toestellen via de 'do-it-yourself' zaken waarbij het veelal over ingevoerde kachels gaat. Naast de activiteiten van de toestellen, is ook de verkoop van hout en pellets een belangrijk onderdeel van deze sector. Ook hier is het zeer moeilijk om een goed overzicht te verkrijgen van de bedrijven actief in deze sector en deze wordt hier niet beschreven. De bedrijven actief in deze markt zijn allemaal KMO's.

Vertrekkende van de leden van Agoria, die toestellen voor huishoudelijke houtverwarming produceren en/of invoeren werd een inschatting gemaakt van een aantal economische gegevens van de sector van de kachelbouwers, invoerders en verdelers. Het betreft hier een 20 tal bedrijven die in 2018 een totale omzet hadden van 235 Milj. Euro met een toegevoegde waarde van 45,5 Milj. Euro. De tewerkstelling in 2018 bedroeg ongeveer 600 personen. Via een enquête bij de leden van Agoria werd eveneens een inschatting gemaakt van de verkoopscijfers van kachels in België. Hieruit blijkt dat van 2013 tot 2018 het aantal verkochte kachels met maar liefst 37% gedaald is, hetgeen zich eveneens duidelijk vertaalde in een daling van de toegevoegde waarde en de tewerkstelling in de sector, respectievelijk -12% en -15,5% tussen 2013 en 2018. De omzet omvat zowel de productie voor verkoop in België als uitvoer, waarbij de enquête van de verkoop van kachels een focus heeft volledig op de binnenlandse markt. De bedrijven die toestellen produceren in België voeren eveneens toestellen uit naar het buitenland, hetgeen het verschil verklaart tussen enerzijds de zeer sterke daling in verkoop en anderzijds de iets minder sterke daling in omzet en tewerkstelling. Deze daling kan verklaard worden door verschillende aspecten. Een eerste element is dat de winters van 2014 en 2015 vrij zacht waren, waardoor er klassiek een daling in de verkoop vast te stellen is. Sinds 2016 zijn de winters echter opnieuw kouder, hetgeen zich niet vertaald heeft in een herstel van de kachelverkoop, er werd daarentegen een verdere daling van de verkoop opgemeten. Volgens Agoria kan dit mogelijks verklaard worden doordat vanaf 2016 de communicatie rond het stookadvies bij hoge fijn stof concentraties is opgestart, waardoor de consument mogelijks afgeschrikt wordt om zijn oude kachel te vervangen.

→ Prijzen van toestellen

De prijzen van toestellen kunnen sterk variëren afhankelijk van het vermogen van het toestel en de mate van afwerking, design, automatisering. Omwille van toenemende isolatiegraad van woningen kan er in de toekomst een evolutie naar lagere vermogens (en dus vermoedelijk in principe goedkopere toestellen) verwacht worden. Naast de aankoopprijs voor het toestel zelf, dient ook rekening gehouden te worden met de kost voor het leveren en plaatsen van het toestel, inclusief aansluiting op het rookgasafvoerkanaal. Indien geen of geen geschikt rookgasafvoerkanaal beschikbaar is, zijn bovendien nog kosten nodig om een rookgasafvoerkanaal te creëren of aan te passen.

Tabel 1 geeft de prijsklassen op basis van een bevraging bij de verschillende fabrikanten/invoerders (zie paragraaf 4.8), waarbij steeds gevraagd werd om zowel hun goedkoopste als duurste model te beschrijven. Op basis van deze cijfers en de bijhorende technieken en emissiekwam duidelijk naar voor dat er over het algemeen geen duidelijke link is tussen toegepaste technologie, de prijs van het toestel en behaald emissieniveau. De reden hiervoor is dat er bij kachels ook een zeer groot stuk design opgenomen is in de prijs, vaak veel groter dan de extra kost voor extra emissiesreducerende technieken.

Tabel 1: Prijsklassen voor nieuwe toestellen volgens bevraging fabrikanten/invoerders, afgerond op 500 EURO

Toesteltype	Prijsklasse (EURO)
Houtkachel – inzetkachel/cassette	2.000 – 3.000
Houtkachel – inbouwkachel	2.000 – 7.500
Houtkachel – voorzetkachel – niet accumulerend	500 – 5.000
Houtkachel – accumulatiekachel	3.500 – 11.000
Pelletkachel – voorzetkachel – niet accumulerend	2.500 – 5.500
Pelletkachel – accumulatiekachel	4.000 – 9.500
Pelletketel	6.000 – 11.000

Hieronder worden enkele prijsklassen vermeld zoals teruggevonden in de literatuur. Het gaat hier telkens om kostprijzen voor nieuwe toestellen. Op de tweedehandsmarkt worden oudere toestellen aan lagere prijzen aangeboden.

Livos publiceerde op zijn website een overzicht met richtprijzen voor kachels en haarden (zie Tabel 2 voor de prijsklassen hiervan). Voor deze richtprijzen maakte men een selectie uit de jongste editie van het '[Borderel van Eenheidsprijzen](#)', samengesteld door Architecten & Ingenieursbureau Aspen. Deze cijfers gaan uit van de gemiddelde prijzen bij kleinschalige projecten voor woningen en appartementen. De prijzen zijn inclusief plaatsing en aansluiting op een bestaande schouw, zonder bouwkundige werken, en exclusief btw.

Tabel 2: Prijsklassen voor nieuwe toestellen volgens Livios, inclusief plaatsing, afgerond op 500 EURO

Toesteltype en vermogen	Prijsklasse (EURO)
Pelletkachel – voorzet	2.500 – 5.000
Pelletkachel – inbouw	3.000 – 3.500
CV-pelletkachel	4.500 – 5.500
Houtkachel – voorzet - gietijzer	1.000 – 3.000
Houtkachel – inbouw - gietijzer	2.000 – 3.000
Houtkachel – inbouw – met CV aansluiting	3.000 – 6.000

Ook het Franse Ademe publiceerde typische prijsklassen voor nieuwe toestellen, exclusief plaatsing. Deze worden gegeven in Tabel 3.

Tabel 3: Prijsklassen voor nieuwe toestellen, exclusief plaatsing (Ademe, 2018)

Toesteltype	Prijsklasse (EURO)
-------------	--------------------

Ketel met omgekeerde verbranding - stukhout	3.000 – 6.000
Ketel met hydroaccumulatievat - stukhout	6.000 – 14.000
Ketel – houtsnippers	15.000 – 22.000
Automatische ketel – pellets	5.000 – 15.000
Condensatieketel – pellets	10.000 – 20.000
Inzet- of inbouwkachel	1.000 – 5.000
Kachel – stukhout	1.000 – 5.000
Kachel – pellets	1.600 – 6.000
Accumulatie kachel – stukhout	5.000 – 16.000

Voor de installatie geeft Ademe geeft volgende richtprijzen:

- 250 tot 1.500 euro voor kachels, inbouwhaarden en niet-automatische ketels
- 2.000 tot 3.000 euro voor automatische ketels.

2.3. MILIEU-JURIDISCHE SITUERING VAN DE SECTOR

In onderstaande paragrafen wordt het milieujuridisch kader van deze BBT-studie geschetst. De aandacht gaat hierbij voornamelijk uit naar de regelgeving in Vlaanderen. Daarnaast komen ook de nationale en Europese regelgeving aan bod, en de regelgeving in een aantal Europese landen. Naast regelgeving gaat ook aandacht naar milieulabels.

Om een betere vergelijking mogelijk te maken van de eisen die in verschillende regelgevingen en milieukeursystemen gesteld worden aan toestellen werden 2 overzichtstabellen opgemaakt in Excel. Deze zijn als bijlagen bij de BBT-studie toegevoegd.

- Bijlage 3: Excel bestand 'concordantietabel': deze vergelijkt de indeling van types toestellen die gehanteerd wordt in de diverse regelgevingen en milieukeursystemen, en geeft aan welke types inhoudelijk met elkaar overeenstemmen;
- Bijlage 4: Excel bestand 'overzicht normen': deze bevat een overzicht van de eisen uit de diverse regelgevingen en milieukeursystemen voor verschillende types toestellen en verschillende parameters, en laat toe (via het tabblad 'Pivottabel') om verschillende tabellen te genereren om deze op verschillende manieren onderling te vergelijken.

2.3.1. VLAAMSE REGELGEVING

→ VLAREM II

VLAREM II (Besluit van de Vlaamse regering houdende algemene en sectorale bepalingen inzake milieuhygiëne) regelt de indeling en milieuvorwaarden voor de hinderlijke inrichtingen in het Vlaamse Gewest.

In VLAREM II wordt onderscheid gemaakt tussen drie klassen van hinderlijke inrichtingen. De inrichtingen of activiteiten van de eerste klasse brengen de grootste risico's of hinder mee. De inrichtingen of activiteiten van de derde klasse brengen de minste risico's of hinder mee. Tot welke klasse een inrichting hoort, hangt af van de voorkomende rubrieken, vermeld in bijlage 1 van VLAREM II 'Indelingslijst'. Stookinstallaties met een nominaal thermisch ingangsvermogen < 300 kW zijn **geen ingedeelde inrichting** in VLAREM. Dit betekent dat de verbranding van zuivere houtbrandstoffen (waaronder hout uit onderhoud van bossen, houtpellets, ...) in huishoudelijke

toestellen is toegelaten en dat VLAREM hiervoor geen milieuvorwaarden oplegt (uitgezonderd de voorwaarden uit deel 6 – zie verder).

De **verbranding van afvalstoffen**, waaronder houtafval is wel ingedeeld in VLAREM (Rubriek 2.3.4 'Opslag en verbranding of meeverbranding'). Dit betekent dat voor deze activiteit een milieuvergunning moet worden aangevraagd en dat de bijhorende milieuvorwaarden moeten worden nageleefd. In de praktijk is dit voor huishoudelijke toepassingen geen realistische optie, waardoor verbranding van afvalstoffen in toestellen voor huishoudelijke houtverwarming de facto als verboden kan worden beschouwd. VLAREM voorziet hierop een uitzondering voor 'het verbranden van onbehandeld houtafval met een watergehalte van maximaal 20%, uitgezonderd zaagsel, krullen, schaafsel, stof en spanen, in toestellen voor de verwarming van woonverblijven en werkplaatsen, in sfeerverwarmers en soortgelijke toestellen met een nominaal thermisch vermogen van maximaal 300 kW'. Deze activiteit valt niet onder rubriek 2.3.4 en is dus niet ingedeeld (= toegelaten). Hiervoor gelden wel VLAREMA voorwaarden (zie verder).

Deel 6 van VLAREM II bevat milieuvorwaarden voor niet-ingedeelde inrichtingen. Hoofdstuk 6.6 bevat milieuvorwaarden voor niet-ingedeelde inrichtingen voor verwarming van gebouwen. Hierin staat vermeld:

Art. 6.6.0.1

*Voor andere **centrale stooktoestellen** dan de centrale stooktoestellen, vermeld in rubriek 43 van de indelingslijst, die in hoofdzaak gebruikt worden voor de verwarming van gebouwen en, optioneel, voor de aanmaak van warm verbruikswater, gelden de bepalingen van **het besluit van de Vlaamse Regering van 8 december 2006** betreffende het onderhoud en het nazicht van centrale stooktoestellen voor de verwarming van gebouwen of voor de aanmaak van warm verbruikswater.*

Voor toestellen voor lokale ruimteverwarming (kachels en haarden) bevat deel 6 van VLAREM II geen voorwaarden.

Meer informatie:

- Link naar de meest recente versie van VLAREM II: <https://navigator.emis.vito.be/mijn-navigator?wold=263&woLang=nl>

→ **VLAREMA (Besluit van de Vlaamse Regering van 17 februari 2012)**

Het VLAREMA is een uitvoeringsbesluit van het Materialendecreet. Het bevat meer gedetailleerde voorschriften over (bijzondere) afvalstoffen, grondstoffen, selectieve inzameling, vervoer, de registerplicht en de uitgebreide producentenverantwoordelijkheid. Artikel 4.5.2 van VLAREMA legt voor bepaalde afvalstromen, oa houtafval, een **verbod** op om deze te verbranden of als brandstof te gebruiken. Dit verbod geldt op voorwaarde dat de afvalstoffen door hun aard, hoeveelheid of homogeniteit in aanmerking komen voor hergebruik of materiaalrecyclage, en als de calorische waarde ervan lager is dan 11.500 KJ/kg.

- Link naar de meest recente versie van VLAREMA: <https://navigator.emis.vito.be/mijn-navigator?wold=43991&woLang=nl>

→ **Stooktoestellenbesluit (Besluit van de Vlaamse Regering van 8 december 2006)**

Sinds 1 juni 2007 is in het Vlaams Gewest het besluit van de Vlaamse Regering van 8 december 2006 betreffende het onderhoud en het nazicht van **centrale stooktoestellen** voor de verwarming van gebouwen of voor de aanmaak van warm verbruikswater, kortweg het stooktoestellenbesluit, van toepassing. Het besluit werd reeds herhaaldelijk gewijzigd. In deze regelgeving zijn bepalingen opgenomen met betrekking tot de keuring vóór eerste ingebruikname, het onderhoud en de verwarmingsaudit voor centrale stooktoestellen.

Volgens het stooktoestellenbesluit is een centraal stooktoestel een stooktoestel dat de aangemaakte warmte verspreidt via een transportsysteem naar meerdere, afzonderlijke ruimten waar deze warmte aangewend wordt om het binnenklimaat van de betreffende ruimte te conditioneren. Dit stooktoestel kan optioneel voorzien worden van een voorziening voor de aanmaak van sanitair warm water (Art. 2, 9°). Een kachel valt niet onder deze definitie en is bijgevolg niet onderhevig aan het stooktoestellenbesluit.

Voor centrale stooktoestellen gestookt met vaste brandstoffen, inclusief hout, zijn de **verplichtingen inzake controle** uit het stooktoestellenbesluit samengevat in Tabel 4.

Tabel 4: Verplichtingen opgelegd door het stooktoestellenbesluit aan eigenaars en gebruikers van centrale stooktoestellen met vaste brandstoffen (inclusief hout)

Wat	Keuring voor eerste ingebruikname	Onderhoud ⁽²⁾	Verwarmingsaudit
Verplichting voor	Eigenaar (verhuurder)	Gebruiker (huurder)	Eigenaar (verhuurder)
Vermogen	Alle	Alle	Vanaf 20 kW
Wanneer	Nieuw centraal stooktoestel ⁽¹⁾	Jaarlijks	Samen met de eerste onderhoudsbeurt nadat het toestel 5 jaar is geworden en nadien 5-jaarlijks
Uit te voeren door	Geschoold vakman of erkende technicus	Geschoold vakman of erkende technicus ⁽³⁾	Erkende technicus verwarmingsaudit
Documentatie	Keuringsrapport en verbrandingsattest	Reinigings- en verbrandingsattest	Verwarmingsaudit-rapport

⁽¹⁾ Een nieuw centraal stooktoestel is een toestel dat:

- a. voor het eerst in gebruik genomen werd;
- b. voorzien werd van een nieuwe ketel of brander;
- c. verbouwd werd (bv. vervanging van aansluitstuk met het rookgasafvoerkanaal);
- d. verplaatst werd.

⁽²⁾ Een onderhoud bestaat uit een reinigingsbeurt en een verbrandingscontrole. Een reinigingsbeurt bestaat dan weer uit een reiniging van het rookgasafvoerkanaal (indien het stooktoestel is aangesloten als type B) en de ketel. De reiniging van de ketel omvat de reiniging van de warmtewisselaar en alle andere inwendige delen die in contact komen met de rookgassen.

⁽³⁾ Uitsluitend het reinigen van het rookgasafvoerkanaal mag ook uitgevoerd worden door een schoorsteenveger: de ketel mag enkel gereinigd worden door een erkende technicus. Indien het rookgasafvoerkanaal werd gereinigd door een schoorsteenveger, vraagt de technicus vóór aanvang van het onderhoud het reinigingsattest op aan de gebruiker van het toestel.

Bij het uitvoeren van de keuring voor eerste ingebruikname en het onderhoud, wordt de goede en veilige staat van werking gecontroleerd.

De **veilige staat van werking** heeft betrekking op aspecten omtrent veiligheid voor de gebruikers, of alle aspecten die de gezondheid van de gebruikers kunnen schaden (bv. CO-vorming en dus verluchting, brandveiligheid enzovoort). Een centraal stooktoestel op vaste brandstoffen wordt in veilige staat van werking bevonden als voldaan is aan onderstaande voorwaarden:

- in het rookgasafvoerkanaal is er voldoende trek zodat de rookgassen vlot worden afgevoerd, overeenkomstig met de code van goede praktijk
- er is voldoende verluchting van het stooklokaal en voldoende aanvoer van verbrandingslucht volgens de code van goede praktijk (d.i. de handleiding van het toestel).

De goede staat van werking heeft betrekking op het verbrandingstechnische gedeelte van de keuring of onderhoudsbeurt. Een toestel op vaste brandstoffen verkeert in goede staat van werking als aan onderstaande voorwaarden is voldaan:

- er is geen condensatie in het rookgasafvoerkanaal of in het afvoerkanaal, tenzij het hiervoor voorzien is
- het stooktoestel verspreidt slechts zelden en op kortstondige wijze hinderlijke en milieuverontreinigende rook

Meer informatie:

- Meest recente versie van het stooktoestellenbesluit:
<https://navigator.emis.vito.be/mijn-navigator?wold=29139&woLang=nl>
- Informatie van het Departement Omgeving voor technici:
<https://omgeving.vlaanderen.be/sites/default/files/atoms/files/20181224%20aandachtspunten%20voor%20technici%20stooktoestellenbesluit%20en%20VLAREL.pdf>
- Informatie van het Departement Omgeving voor eigenaars en gebruikers:
<https://www.lne.be/veilig-verwarmen>
- Normen NBN B 61-001/002 met voorschriften voor het ontwerp van stookafdelingen

→ VLAREL (Besluit van de Vlaamse Regering van 19 november 2010)

De regelgeving omtrent erkenningen is terug te vinden in het besluit van de Vlaamse Regering van 19 november 2010 tot vaststelling van het Vlaams reglement inzake erkenningen met betrekking tot het leefmilieu, kortweg het VLAREL. Het VLAREL is sinds 1 januari 2011 van toepassing en werd sindsdien herhaaldelijk gewijzigd. Hierin zijn onder andere bepalingen opgenomen in verband met de procedure en de voorwaarden tot het bekomen van de erkenning, de verplichte vijfjaarlijkse bijscholing, het betalen van de retributie en het meedelen van wijzigingen in identificatiegegevens. Artikel 6 van het VLAREL lijst de verschillende categorieën erkenningen op. In het kader van deze BBT-studie is de categorie 2c '**erkend technicus verwarmingsaudit**' als vermeld in artikel 2 van het besluit inzake het onderhoud en nazicht van centrale stooktoestellen' van belang.

Meer informatie:

- Link naar de meest recente versie van het VLAREL:
<https://navigator.emis.vito.be/mijn-navigator?wold=38542&woLang=nl>
- Informatie van het Departement Omgeving over erkenningen:
www.omgevingvlaanderen.be/erkenningen

→ Energiebesluit (Besluit van de Vlaamse Regering van 19 november 2010)

Het energiebesluit (Besluit algemene bepalingen energiebeleid) kadert in de energiestatistiek. Titel VIII van het energiebesluit behandelt de 'Erkenning van

energiedeskundigen, verslaggevers, opleidings- en exameninstellingen en de certificering van aannemers en installateurs'. Artikel 8.5.1 van Titel VIII lijst de categorieën op van werken waarvoor op vrijwillige basis een **certificaat van bekwaamheid** kan worden ingevoerd om de kwaliteit van aannemers en installateurs te garanderen. In het kader van deze studie zijn categorieën 4 (de installatie van een biomassakachel voor gedecentraliseerde verwarming, tot een thermisch vermogen van maximaal 100 kW) en 5 (de installatie van een biomassaketel aangaande de productie van sanitair warm water of verwarming, tot een thermisch vermogen van maximaal 100 kW) van belang.

Meer informatie:

- Link naar de meest recente versie van het energiebesluit:
<https://navigator.emis.vito.be/mijn-navigator?wold=59734&woLang=nl>

2.3.2. FEDERALE REGELGEVING

→ Koninklijk Besluit verwarmingsapparaten (Koninklijk Besluit van 12 oktober 2010)

De eisen voor huishoudelijke verwarmingsapparaten op vaste brandstof (o.a. stookhout, houtpellets, steenkool, ...), zijn opgenomen in het Koninklijk Besluit tot regeling van de minimale eisen van rendement en emissieniveaus van verontreinigende stoffen voor verwarmingsapparaten voor vaste brandstoffen, kortweg het KB verwarmingsapparaten. Kachels en ketels die niet voldoen aan de voorwaarden uit dit KB mogen in België niet op de markt worden gebracht².

Bijlage I en Bijlage II uit het KB geven de **minimale rendementseisen en maximale emissieniveaus** weer. Deze werden geleidelijk aan verstrengd: fase I is ingegaan einde 2011, fase II gold sinds einde 2013 en fase III is ingegaan op 24 november 2016. De eisen zijn afhankelijk van het type toestel. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen voorzetkachels, inzetkachels, accumulerende toestellen, pellettoestellen, open haarden, ketels en ketel-kachel combinaties (voor definities van toesteltypes, zie lijst van definities). De eisen voor fase III zijn samengevat in Tabel 5. Alle eisen gelden bij nominaal vermogen. De emissies zijn uitgedrukt bij een referentiezuurstofgehalte van 13% voor kachels, en bij 10% voor ketels.

Tabel 5: Fase III eisen voor verwarmingsapparaten voor vaste brandstoffen uit het Koninklijk Besluit verwarmingsapparaten

Toestel en bijhorende norm	Minimum rendementniveaus		Maximale waarde van CO emissies		Maximale waarde van deeltjes emissies ⁽²⁾	
	continu	niet continu	continu	niet continu	continu	niet continu
Voorzetkachel NBN EN 13240	≥ 65 %	≥ 75 %	≤ 0,8 %	≤ 0,1 %	≤ 150 mg/Nm ³	≤ 40 mg/Nm ³
Inzetkachel NBN EN 13229	≥ 65 %	≥ 75 %	≤ 0,8 %	≤ 0,1 %	≤ 150 mg/Nm ³	≤ 40 mg/Nm ³

² 'Op de markt brengen' wordt in de Wet Productnormen gedefinieerd als: 'het binnenbrengen, de invoer of het bezit met het oog op verkoop of het ter beschikking stellen aan derden, het te koop aanbieden, de verkoop, het huuraanbod, de verhuring, of de afstand onder bezwarende titel of gratis'. Of ook de tweedehandsmarkt onder deze definitie valt, is onderwerp van discussie.

Accumulerend toestel gestookt met vaste brandstof NBN EN 15250	≥ 75 %	≤ 0,1 %	≤ 40 mg/Nm ³
Pellettoestel NBN EN 14785	≥ 85 %	≤ 0,02 %	≤ 30 mg/Nm ³
Ketel-kachel NBN EN 12809	≥ 75 %	≤ 0,1 %	≤ 150 mg/Nm ³
Ketel NBN EN 303-5	≥ 75 %	≤ 1,5 g/Nm ³	≤ 100 mg/Nm ³
Open haard ⁽¹⁾ NBN EN 13229	≥ 65 %	≤ 0,8 %	≤ 300 mg/Nm ³

⁽¹⁾ Het betreft hier enkel open haarden die uitgevoerd zijn als 'toestel'. Open haarden die gemaakt zijn van metselwerk of equivalent, vallen volgens Art. 3 niet onder het toepassingsgebied van het KB.

⁽²⁾ gemeten volgens TS 15883 (European Technical Specification 'Residential solid fuel burning appliances – Emission test methods'): De eisen zijn afgestemd op de methode met 'verwarmd filter'. De emissieniveaus zijn niet haalbaar volgens de methode met 'stroomverduunningstunnel'. Voor ketels wordt gebruik gemaakt van de gravimetrische methode, met uitsluiting van zwevende deeltjes die door gasvormige organische verbindingen worden gevormd wanneer rookgassen in aanraking komen met de omgevingslucht. Zie paragraaf 3.4.1 voor meer informatie over de gebruikte meetmethoden.

Om op de markt te mogen worden gebracht, moeten verwarmingsapparaten voor vaste brandstoffen voorzien zijn van een '**verklaring van overeenstemming**', waarin verklaard wordt dat het toestel voldoet aan de wettelijke emissie- en rendementseisen uit het koninklijk besluit. De verklaring wordt opgesteld door de fabrikant of zijn in de Europese Unie gevestigde gemachtigde, voor elk type of model toestel, en wordt opgenomen in de technische handleiding van het toestel. De verklaring bevat tevens volgende informatie:

- De naam van de fabrikant of van zijn in de Europese Unie gevestigde gemachtigde
- Het commerciële merk van het toestel
- Het type of het model
- De verwijzing van beproevingsverslag, de naam van het laboratorium dat het verslag heeft opgesteld en de verwijzing van de gebruikte norm
- Het vermogen of de reeks van vermogens (in kW)
- Het niveau van rendement (gemeten in een labotest)
- De uitstoot van CO (gemeten in een labotest)
- De uitstoot van deeltjes (gemeten in een labotest)
- Informatie over de aanbevolen vaste brandstof
- Informatie over de af te raden vaste brandstof

De lijst met toestellen voor vaste brandstoffen die door de fabrikant conform verklaard zijn met fase III van het Koninklijk besluit is te raadplegen op de website van de FOD Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en Leefmilieu. Voor elk toestel kan hier ook de verklaring van overeenstemming geraadpleegd worden. Marktcontroles worden uitgevoerd door de FOD Leefmilieu.

Meer informatie:

- Link naar het KB verwarmingsapparaten:
<http://www.emis.vito.be/node/21650>
- Link naar de lijst met toestellen op de website van de FOD Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en Leefmilieu:
<https://www.health.belgium.be/nl/e-services/lijs-t-van-verwarmingstoestellen>

→ **Koninklijk Besluit houtpellets (Koninklijk Besluit van 5 april 2011)**

Het Koninklijk besluit tot bepaling van de eisen waaraan houtpellets moeten voldoen om gebruikt te worden als brandstof voor niet-industriële verwarmingstoestellen. reglementeert de kwaliteit van houtpellets.

Artikel 5 van het besluit geeft productnormen voor houtpellets. Het gaat om voorwaarden voor de oorsprong van het hout dat gebruikt werd voor de productie van de pellets (chemisch onbehandeld hout, afkomstig uit duurzaam bosbeheer) en om technische eisen (oa vochtigheid, asgehalte, verbrandingswaarde, afmetingen, ..., chemische samenstelling).

Om op de markt te mogen worden gebracht, moeten pellets voor vaste brandstoffen voorzien zijn van een **'etiket van gecertificeerde kwaliteit'**, waarin verklaard wordt dat de pellets voldoen aan de eisen uit het koninklijk besluit, onder meer:

- oorsprong van hout: hout dat wordt gebruikt voor de productie van pellets moet chemisch onbehandeld hout bevatten en afkomstig zijn van werkzaamheden uit duurzaam bosbeheer zoals die met het FSC- en PEFC-label. Andere labels kunnen gebruikt worden zolang ze dezelfde doelstellingen rond duurzaam bosbeheer respecteren als de labels FSC en PEFC
- ze moeten een vochtgehalte van minder dan 10 percent hebben en een asgehalte van minder dan 1.5 percent
- de verbrandingswaarde moet minimaal 16.3 MJ/kg en de dichtheid minimaal 600 kg/m³ bedragen.

Tot slot worden diverse samenstellingsvoorwaarden opgelegd, zoals de gehaltes aan zwavel, stikstof, chloor, arseen, cadmium, lood, enz.

De FOD Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en Leefmilieu is bevoegd voor de controle op de kwaliteit van pellets.

Meer informatie:

- Link naar de meest recente versie van het KB houtpellets:
<https://navigator.emis.vito.be/mijn-navigator?wold=38921&woLang=nl>

2.3.3. EUROPESE REGELGEVING

→ **CE markering**

Heel wat producten die in de Europese Economische Ruimte (EER) geproduceerd, verhandeld of geïmporteerd worden, moeten een CE-markering dragen. Dit label (zie Figuur 5) toont aan dat een product voldoet aan alle toepasselijke Europese eisen op het gebied van veiligheid, gezondheid en milieu die een CE-markering vereisen. De CE-markering werd in 1993 opgelegd via de CE markeringsrichtlijn (Richtlijn 93/68/EEC), die een reeks bestaande productspecifieke richtlijnen (die voorzagen in een oude EG-markering) wijzigde. Sinds de publicatie van de CE markeringsrichtlijn zijn veel productspecifieke richtlijnen vernieuwd of nieuw gecreëerd, en in deze nieuwe richtlijnen is de verplichting tot CE-markering veelal rechtstreeks opgenomen. De CE markeringsrichtlijn zelf heeft hierdoor aan belang verloren. Voor bouwproducten is de verplichting tot CE markering geregeld door de bouwproductenverordening.



Figuur 5: Label CE markering

Voor toestellen voor huishoudelijke houtverwarming is de CE-markering gelinkt aan de normen met eisen en beproevingsmethoden (zie paragraaf HOOFDSTUK 1):

- NBN EN 13229: Inzethaarden en open haarden (sinds 2018 vervangen door NBN EN 16510-1)
- NBN EN 13240: Voorzetkachels (sinds 2018 vervangen door NBN EN 16510-1)
- NBN EN 12809: Ketel-kachels (sinds 2018 vervangen door NBN EN 16510-1)
- NBN EN 14785: Pellettoestellen
- NBN EN 15250: Accumulerende toestellen
- NBN EN 303-5: Ketels

Meer informatie:

- Informatie van de federale overheid over de CE-markering:
https://www.belgium.be/nl/economie/handel_en_consumptie/producten_en_diensten/non_food-producten/ce-label

→ Energie-etikettering

Nieuwe toestellen van bepaalde groepen, moeten in Europa verplicht een energie-label dragen. Dat energielabel toont tot welke categorie het toestel behoort, gaande van meest (A+++-label) tot minst energiezuinig (G-label).

Voor toestellen voor huishoudelijke houtverwarming worden de voorwaarden voor de etikettering vastgelegd in volgende Europese verordeningen:

- Verordening (EU) 2015/1186 van 24 april 2015 van toepassing op **toestellen voor lokale ruimteverwarming**
- Verordening (EU) 2015/1187 van 27 april 2015 van toepassing op **verwarmingsketels voor vaste brandstoffen** en pakketten bestaande uit een verwarmingsketel voor vaste brandstoffen, aanvullende verwarmingstoestellen, temperatuursregelaars en zonne-energie-installaties

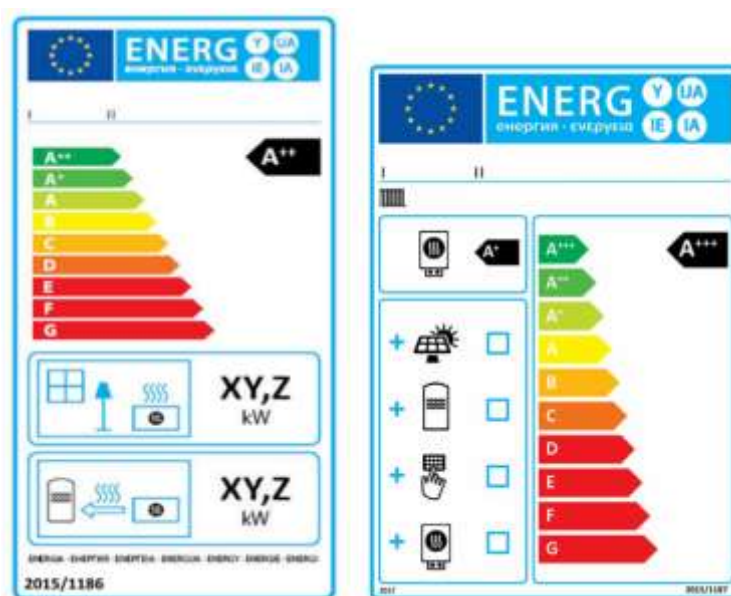
De energie-efficiëntieklasse van een toestel voor lokale ruimteverwarming wordt bepaald op basis van de energie-efficiëntie-index, zoals aangegeven in Tabel 6. De energie-efficiëntie-index wordt berekend volgens bijlage XIII van Verordening (EU) 2015/1186 en bijlage IX van Verordening (EU) 2015/1187. De berekeningen zijn gebaseerd op de seizoensgebonden energie-efficiëntie voor ruimteverwarming, waarbij een positieve correctie wordt doorgevoerd voor het gebruik van biomassa, en daarnaast diverse positieve en negatieve correcties, b.v. voor sturingen voor het verwarmingscomfort binnenshuis, het aanvullend elektriciteitsverbruik, en het energieverbruik van een permanente waakvlam.

Tabel 6: Energie-efficiëntieklassen voor toestellen voor lokale ruimteverwarming (verordening (EU) 2015/1186) en voor verwarmingsketels op vaste brandstoffen (verordening (EU) 2015/1187)

Energie-efficiëntieklasse	Energie-efficiëntie-index (EEI) volgens verordening (EU) 2015/1186	Energie-efficiëntie-index (EEI) volgens verordening (EU) 2015/1187
A+++		EEI ≥ 150

A++	$EEI \geq 130$	$125 \leq EEI < 150$
A+	$107 \leq EEI < 130$	$98 \leq EEI < 125$
A	$88 \leq EEI < 107$	$90 \leq EEI < 98$
B	$82 \leq EEI < 88$	$82 \leq EEI < 90$
C	$77 \leq EEI < 82$	$75 \leq EEI < 82$
D	$72 \leq EEI < 77$	$36 \leq EEI < 75$
E	$62 \leq EEI < 72$	$34 \leq EEI < 36$
F	$42 \leq EEI < 62$	$30 \leq EEI < 34$
G	$EEI < 42$	$EEI < 30$

De lay-out van de labels wordt weergegeven in Figuur 6.



Figuur 6: Energielabels volgens EU 2015/1186 (kachels, links) en EU 2015/1187 (ketels, rechts)

Op verzoek moet de leverancier verdere technische informatie, zoals uiteengezet in Bijlagen V van de verordeningen, beschikbaar stellen aan de autoriteiten van de lidstaten en aan de Commissie.

Meer informatie:

- Gedelegeerde Verordening (EU) 2015/1186:
<http://www.emis.vito.be/node/34342>
- Gedelegeerde Verordening (EU) 2015/1187:
<http://www.emis.vito.be/node/34343>

→ Ecodesign richtlijn

De Ecodesign Richtlijn (2009/125/EG) vormt een kaderrichtlijn voor het opstellen van Ecodesign eisen (via Europese wetgeving) voor energie gerelateerde apparatuur (ErP). In uitvoering hiervan zijn producteisen opgesteld voor nieuwe houtkachels en biomassa-gestookte ketels. Deze zijn opgenomen in onderstaande verordeningen:

- Verordening (EU) 2015/1185 van 24 april 2015 van toepassing op **toestellen voor lokale ruimteverwarming die vaste brandstoffen gebruiken**

- Verordening (EU) 2015/1189 van 28 april 2015 van toepassing op **verwarmingsketels voor vaste brandstoffen**

Verordening (EU) 2015/1185 geeft eisen inzake ecologisch ontwerp voor het in de handel brengen en in werking stellen van toestellen voor lokale ruimteverwarming die vaste brandstoffen gebruiken en die een nominale warmteafgifte van maximaal 50 kW hebben. Verordening (EU) 2015/1189 doet hetzelfde voor verwarmingsketels voor vaste brandstoffen die een nominale warmteafgifte van maximaal 500 kW hebben. Deze verordeningen bevatten **eisen voor de energie-efficiëntie en emissies**, te bepalen volgens de methoden opgelegd in bijlage bij de verordeningen.

De eisen inzake energie-efficiëntie en emissies uit beide verordeningen zijn samengevat in Tabel 7. De emissie-eisen zijn uitgedrukt bij standaardomstandigheden (273K, 1013 mbar). Voor kachels (EU 2015/1185) hebben de emissie-eisen betrekking op emissies bij nominale warmteafgifte, bij ketels (EU 2015/1189) gaat het om seizoensgebonden emissies (zie lijst van definities). Het referentiezuurstofgehalte bedraagt 13% voor kachels (EU 2015/1185) en 10% voor ketels (EU 2015/1189).

Tabel 7: Eisen inzake ecologisch ontwerp van toestellen voor huishoudelijke houtverwarming⁽¹⁾

	Seizoens- gebonden energie- efficiëntie	Stof	OGC	CO	NOx
Toestellen met open voorkant (EU) 2015/1185 (vanaf 1/1/2022)	30 %	50 mg/m ³ of 6 g/kg droge stof ⁽²⁾	120 mg/m ³	2000 mg/m ³	200 mg/m ³
Toestellen met gesloten voorkant – andere vaste brandstof dan houtpellets (EU) 2015/1185 (vanaf 1/1/2022)	65 %	40 mg/m ³ of 5 dan wel 2,4 g/kg droge stof ⁽²⁾	120 mg/m ³	1500 mg/m ³	200 mg/m ³
Toestellen met gesloten voorkant – houtpellets als brandstof (EU) 2015/1185 (vanaf 1/1/2022)	79 %	20 mg/m ³ of 2,5 dan wel 1,2 g/kg (droge stof) ⁽²⁾	60 mg/m ³	300 mg/m ³	200 mg/m ³
Brandstofketels op vaste brandstoffen met nominale warmteafgifte van max. 20 kW en automatisch gestookt (EU) 2015/1189 (vanaf 1/1/2020)	75 %	40 mg/Nm ³	20 mg/Nm ³	500 mg/Nm ³	200 mg/Nm ³
Brandstofketels op vaste brandstoffen met nominale	75 %	60 mg/Nm ³	30 mg/Nm ³	700 mg/Nm ³	200 mg/Nm ³

warmteafgifte van max. 20 kW en handmatig gestookt (EU) 2015/1189 (vanaf 1/1/2020)					
Brandstofketels op vaste brandstoffen met nominale warmteafgifte > 20 kW en automatisch gestookt (EU) 2015/1189 (vanaf 1/1/2020)	77 %	40 mg/Nm ³	20 mg/Nm ³	500 mg/Nm ³	200 mg/Nm ³
Brandstofketels op vaste brandstoffen met nominale warmteafgifte > 20 kW en handmatig gestookt (EU) 2015/1189 (vanaf 1/1/2020)	77 %	60 mg/Nm ³	30 mg/Nm ³	700 mg/Nm ³	200 mg/Nm ³

⁽¹⁾Daar waar in de verordeningen onderscheid gemaakt wordt tussen biomassa en fossiele brandstoffen, is in de tabel de waarde voor biomassa overgenomen.

⁽²⁾afhankelijk van de gehanteerde meetmethode: waarden in mg/Nm³ wanneer gebruik gemaakt wordt van de methode met 'verwarmd filter' (meting in het rookgaskanaal), waarden in g/kg wanneer gebruik gemaakt wordt van één van beide methodes met 'stroomverduunningstunnel' (zie paragraaf 3.4.1 voor meer informatie over de gebruikte meetmethoden)

Daarnaast moet over de toestellen ook de nodige productinformatie verstrekt worden, zoals gespecificeerd in bijlagen bij de verordeningen.

Bijlage V van de verordening geeft **indicatieve benchmarks voor best presterende toestellen** voor lokale ruimteverwarming die vaste brandstoffen gebruiken, die op markt beschikbaar zijn op het ogenblik dat de verordening van kracht werd. Deze benchmarks zijn samengevat in Tabel 8. De prestaties zijn uitgedrukt bij standaardomstandigheden (273K, 1013 mbar). Voor kachels (EU 2015/1185) hebben de prestaties betrekking op emissies bij nominale warmteafgifte, bij ketels (EU 2015/1189) gaat het om seizoensgebonden emissies (zie lijst van definities). Het referentiezuurstofgehalte bedraagt 13% voor kachels (EU 2015/1185) en 10% voor ketels (EU 2015/1189).

Tabel 8: Indicatieve benchmarks voor best presterende toestellen voor huishoudelijke houtverwarming

	Seizoens-gebonden energie-efficiëntie	Stof	OGC	CO	NOx
Toestellen met open voorkant (EU) 2015/1185	47 %	20 mg/m ³	30 mg/m ³	500 mg/m ³	50 mg/m ³
Toestellen met gesloten voorkant – andere vaste brandstof dan houtpellets (EU) 2015/1185	86 %	20 mg/m ³	30 mg/m ³	500 mg/m ³	50 mg/m ³

Toestellen met gesloten voorkant – houtpellets als brandstof (EU) 2015/1185	94 %	10 mg/m ³	10 mg/m ³	250 mg/m ³	50 mg/m ³
Brandstofketels op vaste brandstoffen (EU) 2015/1189	96 % voor ketels met warmtekrachtkoppeling 90% voor ketels met rookgascondensor 84% voor andere ketels	2 mg/m ³	1 mg/m ³	6 mg/m ³	97 mg/m ³

Belangrijke vermelding bij de indicatieve benchmarks is dat er op het ogenblik van de inwerkingtreding van de verordeningen geen enkel toestel op de markt was dat gelijktijdig aan alle eisen voldeed. Er waren wel verscheidene toestellen op de markt die voldeden aan één of meerdere van deze eisen. De verordeningen geven voorbeelden van 'goede combinaties' van prestaties die behaald worden door bestaande toestellen. Deze zijn samengevat in Tabel 9. De prestaties zijn uitgedrukt bij nominale warmteafgifte en bij standaardomstandigheden (273K, 1013 mbar). Het referentiezuurstofgehalte bedraagt 13% voor kachels (EU 2015/1185) en 10% voor ketels (EU 2015/1189).

Tabel 9: Voorbeelden van bestaande toestellen met 'goede combinaties'

	Seizoens-gebonden energie-efficiëntie	Stof	OGC	CO	NOx
Toestellen met gesloten voorkant – andere vaste brandstof dan houtpellets ⁽¹⁾ (EU) 2015/1185	83 %	33 mg/m ³	69 mg/m ³	1125 mg/m ³	115 mg/m ³
Toestellen met gesloten voorkant – houtpellets als brandstof (EU) 2015/1185	91 %	22 mg/m ³	6 mg/m ³	312 mg/m ³	121 mg/m ³
Brandstofketels op vaste brandstoffen ⁽¹⁾ (EU) 2015/1189	81%	7 mg/m ³	2 mg/m ³	6 mg/m ³	120 mg/m ³

⁽¹⁾De aard van de brandstof in het voorbeeldtoestel wordt in de verordeningen niet vermeld. Het is dus niet duidelijk of het over een houttoestel of over een toestel op andere vaste brandstof gaat.

Meer informatie:

- Verordening (EU) 2015/1185:
<http://www.emis.vito.be/node/34341>
- Verordening (EU) 2015/1189:
<http://www.emis.vito.be/node/34345>

2.3.4. BUITENLANDSE REGELGEVING

In deze paragraaf vatten we kort de regelgeving samen die van toepassing is in enkele Europese landen met betrekking tot huishoudelijke houtverwarming.

→ **Denemarken**

In Denemarken is op 26 januari 2018 een nieuwe wettelijke regeling van kracht geworden voor houtkachels en -ketels. Deze volgt een oudere regeling uit 2008 op.

De emissie-eisen voor houtkachels bedragen:

- Stof: 4 g/kg (meting met stroomverduunningstunnel) – 30 mg/Nm³ bij 13% O₂ (meting rechtstreeks in het rookgaskanaal)
- OGC: 120 mg C/Nm³ bij 13% O₂

De emissie-eisen voor manueel gestookte houtketels bedragen:

- Stof: 60 mg/Nm³ bij 10% O₂
- CO: 700 mg/Nm³ bij 10% O₂
- OGC: 30 mg/Nm³ bij 10% O₂

De emissie-eisen voor automatisch gestookte houtketels bedragen:

- Stof: 40 mg/Nm³ bij 10% O₂
- CO: 500 mg/Nm³ bij 10% O₂
- OGC: 20 mg/Nm³ bij 10% O₂

Houtkachels en -ketels mogen enkel geïnstalleerd worden indien ze voldoen aan deze emissie-eisen. Om aan te tonen dat voldaan is aan de emissie-eisen, ondergaan toestellen een (type)keuring en wordt een certificaat opgesteld. De persoon die het toestel laat installeren, moet op eigen kosten het testcertificaat laten controleren en ondertekenen door een geschoolde schoorsteenveger. Ook worden voorwaarden opgelegd met betrekking tot de schouwhoogte.

De regeling voorziet de nodige handhavingsmogelijkheden (oa boetes) en de mogelijkheid voor gemeenten om zonodig aanvullende reglementen op te stellen voor specifieke zones.

Meer informatie:

- Statutory Order regarding regulation of air pollution from solid fuel combustion plants under 1 MW
https://eng.mst.dk/media/189839/bek-regulering-af-luftforurening-fra-fyringsanlaeg-2018_eng.pdf

→ **Duitsland**

In Duitsland is de 'Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen (1. BImSchV) van toepassing op toestellen voor huishoudelijke houtverwarming. Deze regelgeving werd vernieuwd in 2010.

Nieuwe installaties moeten voldoen aan de emissie-eisen en eisen inzake energie-efficiëntie weergegeven in Tabel 10. Deze voorwaarden werden geleidelijk aan aangescherpt: een eerste fase was van toepassing op toestellen in gebruik genomen vanaf 22/03/2010 (fase 1), een tweede (strengere) fase op toestellen in gebruik genomen na 31/12/2014 of 31/12/2016 (fase 2). De emissie-eisen zijn uitgedrukt bij nominale warmteafgifte. Het referentiezuurstofgehalte bedraagt 13%. Voor meer toelichting bij de benaming van de toesteltypes wordt verwezen naar de 'Concordantietabel' die als bijlage 3 bij de BBT-studie is gevoegd.

Tabel 10: Emissie-eisen en energie-efficiëntie eisen uit de 1. BImSchV

Type	Fase 1: Toestellen vanaf 22/03/2010		Fase 2: Toestellen na 31/12/2014 ⁽¹⁾		Energie-efficiëntie
	CO (g/m ³)	Stof (g/m ³)	CO (g/m ³)	Stof (g/m ³)	
Raumheizer mit Flachfeuerung	2,0	0,075	1,25	0,04	73
Raumheizer mit Füllfeuerung	2,5	0,075	1,25	0,04	70
Speichereinzelfeuerstätten	2,0	0,075	1,25	0,04	75
Kamineinsätze (geschlossene Betriebsweise)	2,0	0,075	1,25	0,04	75
Kachelofeneinsätze mit Flachfeuerung	2,0	0,075	1,25	0,04	80
Kachelofeneinsätze mit Füllfeuerung	2,5	0,075	1,25	0,04	80
Pelletöfen ohne Wassertasche	0,4	0,05	0,25	0,03	85
Pelletöfen mit Wassertasche	0,4	0,03	0,25	0,02	90
Ketels – onbehandeld brandhout (≥ 4 – 500 kW)	1,0	0,10	0,40	0,02	
Ketels – houtpellets (≥ 4 – 500 kW)	0,8	0,06	0,40	0,02	

⁽¹⁾: voor ketels op brandhout: na 31.12.2016

Voor kachels dient door middel van een labotest per type toestel aangetoond te worden dat voldaan wordt aan deze emissie-eisen en energie-efficiënties. Dit wordt geattesteerd door een certificaat van overeenstemming. Consumenten moeten ervoor zorgen dat ze een certificaat van overeenstemming ontvangen op het moment van aankoop en dienen dit beschikbaar te houden voor de schoorsteenveger.

Voor ketels voor centrale verwarming gebeurt de controle in de praktijk (= tijdens gebruik). Hiervoor worden 2-jaarlijkse metingen door de schoorsteenveger voorzien.

Voor toestellen ouder dan 22/03/2010 is er een overgangsregeling uitgewerkt, met diverse overgangstermijnen (tot 2015 voor de oudste toestellen, tot 2025 voor toestellen van kort voor 2010). Na deze overgangsperioden gelden ook voor hen emissie-eisen. Deze zijn echter minder streng dan de emissie-eisen voor nieuwe toestellen:

- Bestaande kachels moeten na de overgangsperiode voldoen aan emissie-eisen van 4 g/m³ voor CO en 0,15 g/m³ voor stof. Dit dient aangetoond te worden door middel van een verslag van een typekeuring door de fabrikant (indien beschikbaar), of door een emissiemeting ter plaatse. Als de kachel niet voldoet aan de emissie-eisen, moet het toestel buiten gebruik gesteld worden (vervangen), of worden uitgerust met een filter (elektrofilter). Er zijn uitzonderingen voorzien, o.a. voor kachels die de enige verwarmingsmogelijkheid van een wooneenheid zijn en voor 'historische' kachels (gebouwd voor 1950).
- Bestaande ketels moeten na de overgangsperiode voldoen aan de fase 1 emissie-eisen zoals vermeld in Tabel 10.

Het 1. BImSchV legt verder nog op dat het vochtgehalte van het hout maximum 25% mag bedragen (met uitzondering van hout dat gestookt wordt in installaties die ontworpen zijn voor brandstoffen met hoger vochtgehalte, bv. houtsnippers). Ook dit wordt gecontroleerd door de schoorsteenveger.

Open haarden mogen volgens het 1. BImSchV slechts bij gelegenheid gebruikt worden. Enkel onbehandeld stukhout of houtbriketten mogen erin verbrand worden.

In het 1. BImSchV is een belangrijke rol weggelegd voor de schoorsteenveger:

- Voor ketels voert hij 2-jarlijks praktijkmetingen uit om de naleving van de emissie-eisen te controleren.
- Voor kachels voert hij 2 keer per 7 jaar een controle uit van de goede werking en de technische staat van het toestel. Dit gebeurt ook wanneer een nieuw toestel in gebruik wordt genomen, of wanneer het toestel van eigenaar verandert.
- Hij meet het vochtgehalte van het opgeslagen hout.
- Hij geeft advies aan de eigenaar over hoe het toestel optimaal kan worden gestookt, wanneer een bestaande kachel buiten gebruik moet worden genomen of met een elektrofilter dient te worden uitgerust, en hoe het hout zodanig kan worden opgeslagen dat het voldoende droogt.

Meer informatie:

- 1. BImSchV
http://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_1_2010/inhalts_bersicht.html
- Toelichting bij 1. BImSchV
<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3776.pdf>

→ Oostenrijk

In Oostenrijk is de 'Vereinbarung gemäß Art. 15a B-VG über das Inverkehrbringen von Kleinfeuerungen und die Überprüfung Seite 1 von 2 von Feuerungsanlagen und Blockheizkraftwerken' uit 2011 van toepassing. Deze regelgeving legt emissie-eisen op voor nieuwe toestellen. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen handgestookte en automatisch gestookte toestellen (zie Tabel 11). De emissie-eisen gelden bij nominale belasting, en voor CO en OGC ook bij deellast (laagst opgegeven grens van het vermogensbereik). Op de emissie-eisen bij deellast zijn echter uitzonderingen mogelijk (onder voorwaarden, onder andere vermelding in de documentatie bij het toestel).

Tabel 11: Emissie-eisen voor houtgestookte toestellen < 50 kW uit de Vereinbarung Art 15a B VG - Inverkehrbringen von Kleinfeuerungen

	Emissie-eisen (mg/MJ ⁽¹⁾) tot 31/12/2014				Emissie-eisen (mg/MJ ⁽¹⁾) vanaf 1/1/2015			
	CO	NOx	OGC	Stof	CO	NOx	OGC	Stof
Houtkachel - handgestookt	1100	150	80	60	1100	150	50	35
Pelletkachel - automatisch gestookt	500 ⁽²⁾	150	30	50	500	100	30	25
Houtketel - handgestookt	500	150	50	50	500	100	30	30
Pelletketel - automatisch gestookt	250 ⁽²⁾	150	30	40	250	100	20	20

⁽¹⁾uitgedrukt ten opzichte van de netto energie-inhoud van de brandstof

⁽²⁾de eis mag met 50% overschreden worden bij deellast bij 30% van de nominale warmte afgifte

Door middel van een labotest per type toestel dient aangetoond te worden dat aan deze emissie-eisen voldaan is. Dit wordt geattesteerd door een certificaat van overeenstemming. De leveranciers zijn verplicht om kopie van het testrapport aan de koper over te dragen. Voor individueel gebouwde accumulatie/tegelskachels is het niet mogelijk om elk exemplaar aan een typetest te onderwerpen. Hiervoor is een berekeningsprogramma beschikbaar. Het resultaat van de berekening vervangt voor deze kachels de typecontrole.

De regeling voorziet ook in periodieke controles van de goede en veilige werking van de installatie. Dit voorwaarden hiervoor worden echter op niveau van de deelstaten vastgelegd.

Ook in Oostenrijk is een belangrijke rol weggelegd voor de schoorsteenveger. Hij geeft advies bij de installatie van een nieuwe kachel (geschiktheid rookgaskanaal, dimensionering van de kachel, luchttoevoer, houtopslag, ...).

Meer informatie:

- Vereinbarung Art 15a B VG - Inverkehrbringen von Kleinf Feuerungen'
<https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=LrSbg&Gesetzesnummer=20000826>
- Toelichting bij de regelgeving
http://www.richtigheizen.at/ms/richtigheizen_at/recht/

→ Nederland

Voor houtkachels bij particulieren geldt in Nederland enkel de CE typekeur, waarbij de fabrikant kan aangeven dat zijn product aan Europese veiligheids- en/of gezondheidsrichtlijnen voldoet. De Nederlandse fabrikanten en onder de NHK (Stichting Nederlandse haarden en kachelbranche) ressorterende vakhandelaren hanteren in de regel de Duitse norm (zie hoger) als minimale prestatie-eis (Feringa, van der Wal, de Vogel, & Coenrady, 2019).

In januari 2019 heeft Staatssecretaris Van Veldhoven aangekondigd in Nederland de implementatie van de Ecodesign richtlijn te willen vervroegen naar 1 januari 2020. Op het moment van het schrijven van deze BBT studie ligt de vervroegde invoering van de Ecodesign richtlijn nog steeds onder discussie en is er nog geen effectieve datum voor vervroegde invoering gekend.

2.3.5. NORMEN MET EISEN EN BEPROEVINGSMETHODEN

Voor verschillende soorten toestellen voor huishoudelijke houtverwarming werden normen ontwikkeld met technische eisen waaraan de toestellen moeten voldoen, en met testprotocollen om de emissies en energetische efficiëntie van de toestellen te bepalen (zie hiervoor ook paragraaf 3.4.1). Deze normen worden gebruikt wanneer toestellen door labo's getest worden, om conformiteit met Europese of nationale normen of labels aan te tonen. De normen leggen zelf geen emissie-eisen op, ze bepalen enkel de meetprotocollen. In de diverse regelgevingen over milieuprestaties van toestellen voor huishoudelijke houtverwarming (zie hoger) wordt voor de meetmethode naar de EN (of nationale) normen verwezen.

De belangrijkste normen zijn:

- EN 13240 voor voorzetkachels
- EN 13229 voor inzettoestellen en open haarden
- EN 14785 voor houtpelletkachels
- EN 15250 voor accumulerende kachels
- EN 12809 voor kachelketels tot 50 kW

- EN 303-5 voor centrale verwarmingsketels tot 500 kW

In 2018 werd deel 1 gepubliceerd van de **nieuwe norm EN 16510** 'Huishoudelijke verbrandingstoestellen voor vaste brandstoffen - Deel 1: Algemene eisen en beproevingsmethoden'. Deze vervangt de normen EN 13240 voor voorzetkachels, EN 13229 voor inzettoestellen en open haarden, en EN 12809 voor kachelketels tot 50 kW. De nieuwe norm beschrijft de testmethoden en de meetmethoden voor CO, NOx, OGC en stof op een meer gedetailleerde manier dan de bestaande normen, zonder hiermee in tegenspraak te zijn. (Bron: <http://rrf-online.eu/en/publication-of-en-16510-1-as-a-non-harmonized-standard/>)

In de toekomst zal de nieuwe norm nog uitgebreid worden met bijkomende delen voor specifieke types toestellen:

- Part 2-1: Roomheaters;
- Part 2-2: Inset appliances including open fires;
- Part 2-3: Cookers;
- Part 2-4: Independent boilers — Nominal heat output up to 50 kW;
- Part 2-5: Slow heat release appliances;
- Part 2-6: Appliances fired by wood pellets.

Bron: <https://www.nen.nl/NEN-Shop/Bouwnieuwsberichten/Norm-voor-huishoudelijke-verbrandingstoestellen-voor-vaste-brandstoffen-gepubliceerd.htm>

Enmaal de serie normen EN 16510 van kracht zullen zijn, zal de huidige technische specificatie voor de meetmethoden (TS15883) komen te vervallen. De meetmethoden zijn dan geïntegreerd in EN16510-1 (persoonlijke communicatie sector). Volgens de EN normen worden de emissies gemeten bij nominale warmteafgifte, en indien passend, bij deellast. **Staalnames tijdens de opstartperiode, wanneer emissies vaak hoger zijn, zijn niet voorzien in de EN normen.** Voor ketels is in de EU normen sprake van seizoensgebonden emissies (zie lijst van definities).

Naast de hierbovengenoemde normen voor verschillende toesteltypen, zijn er ook normen voor diverse aspecten van de installatie van toestellen, ondermeer:

- NBN EN 12831-1 : Energie prestatie van gebouwen – methode voor berekening van de ontwerpverwarmingsbelasting – deel 1: warmtebelasting voor ruimteverwarming, en de bijhorende ANB (nationale bijlage) die goedgekeurd is en zal gepubliceerd worden in 2020
- NBN B61-001 en 002:2019: Verwarmingssystemen in gebouwen - Ontwerp van stookafdelingen - Totaal nominaal vermogen groter dan of gelijk aan 70 kW en kleiner dan 70kW. Deze normen, hoewel van toepassing op centrale verwarmingsketels, wordt bij het ontbreken van een specifieke normering voor kachels en haarden doorgaans als maatstaf gehanteerd voor kachels en haarden. Richtlijnen van de fabrikanten zijn ook meestal op deze norm gebaseerd
- Het technisch rapport CEN/TR 16798-4:2017, dat een achtergronddocument is van de NBN EN 16798-3:2017, bevat aanbevelingen voor de minimumafstand tussen een luchttoevoeropening enerzijds en een luchtafvoeropening (ventilatie, ...) of rookgasafvoer van een verwarmingstoestel anderzijds. Deze aanbevelingen zijn gebaseerd op het begrip 'verdunningsfactor' en vormen een interessante insteek, hoewel ze geen absolute garantie geven op afwezigheid van hinderklachten.
- NBN EN 15287-1: 2010: Schoorstenen - Ontwerp, installatie en ingebruikneming van schoorstenen - Deel 1: Schoorstenen voor van de omgevingslucht afhankelijke verwarmingstoestellen. Deze norm bevat bepalingen inzake het ontwerp, de installatiecriteria voor schoorsteensystemen, de constructie van op maat gemaakte schoorstenen en de relining van bestaande schoorstenen.

- NBN EN 15287-2: 2008: Schoorstenen - Ontwerp, installatie en ingebruikneming van schoorstenen - Deel 2: Schoorstenen voor gesloten verwarmingstoestellen. Deze norm bevat bepalingen inzake de ontwerp-, installatie- en etiketteringscriteria voor schoorsteensystemen, het verbinden van rookgaskanalen en luchttoevoerleidingen voor verwarmde ruimtetoepassingen
- NBN EN 13384-1: Schoorstenen - Thermische en dynamische stromingsberekenningsmethoden - Deel 1: Schoorstenen voor één verwarmingstoestel
- NBN EN 13384-1: Schoorstenen - Thermische en dynamische stromingsberekenningsmethoden - Deel 1: Enkelvoudige schoorstenen voor meerdere verwarmingstoestellen
- NBN S 01-400-1:2008: Akoestische criteria voor woongebouwen

2.3.6. MILIEULABELS

Milieulabels hebben tot doel de consument te helpen bij het maken van een milieubewuste keuze. Ze kunnen aan bepaalde producten (inclusief diensten) worden toegekend indien ze voldoen aan vooraf vastgelegde duurzaamheidscriteria. Deze criteria worden opgesteld door een onafhankelijke instantie en kunnen betrekking hebben op de hele levenscyclus van het product. Producenten kunnen op vrijwillige basis een dossier indienen voor hun producten. Indien ze aan de criteria voldoen, kunnen ze aanspraak maken op het label.

In deze paragraaf worden een aantal milieulabels voor houtkachels en -ketels besproken. Daarnaast bestaan er ook milieulabels voor houtbrandstoffen (pellets). Deze worden waar relevant vermeld maar niet verder besproken.

→ Europese Ecolabel

Het Europese Ecolabel (zie Figuur 7) is een milieukeurmerk van de Europese Unie voor non-food producten en diensten en bestaat sinds 1992.



Figuur 7: Europees ecolabel

In 2014 werden criteria gepubliceerd voor de toekenning van het Europese Ecolabel voor verwarmingstoestellen op water (2014/314/EU - Besluit van de Commissie van 28 mei 2014 tot vaststelling van de milieucriteria voor de toekenning van de EU-milieukeur voor verwarmingstoestellen op basis van water). Deze zijn o.a. van toepassing op verwarmingstoestellen met een met vaste brandstoffen gestookte ketel, en dus op met hout gestookte ketels voor huishoudelijke houtverwarming.

Voor houtkachels en voor houtbrandstoffen zijn geen Ecolabel criteria ontwikkeld.

De criteria op gebied van emissies en energie-efficiëntie voor met hout gestookte ketels zijn samengevat in Tabel 12. De emissiewaarden zijn uitgedrukt bij 10% O₂ en het gaat om seizoensgebonden emissies (zie lijst van definities).

Tabel 12: Criteria voor energie-efficiëntie en seizoensgebonden emissies voor het Europese Ecolabel

Toestel	CO (mg/Nm ³)	NO _x (mg/Nm ³)	OGC (mg/Nm ³)	Stof (mg/Nm ³)	Energie- efficiëntie (%)
Verwarmingstoestellen met een vaste	175	150	7	20	79%

biomassagestookte ketel – automatisch gestookt					
Verwarmingstoestellen met een vaste biomassagestookte ketel – manueel gestookt	250	150	7	20	79%

Bijkomend moet ook voldaan zijn aan een reeks van criteria op het gebied van

- Emissie-eisen voor broeikasgassen
- De gebruikte materialen
- Duurzaam productontwerp
- Installatie-instructies en gebruikersinformatie.

Meer informatie:

- Algemene info over het Europese Ecolabel:
<https://www.ecolabel.be/nl>
http://ec.europa.eu/environment/ecolabel/index_en.htm
- Besluit van de Commissie van 28 mei 2014 tot vaststelling van de milieucriteria voor de toekenning van de EU-milieukeur voor verwarmingstoestellen op basis van water (2014/314/EU):
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/?uri=CELEX%3A32014D0314>

→ Der Blauer Engel (Duitsland)

Der Blauer Engel is een Duits label (zie Figuur 8), opgericht in 1978 door de Duitse overheid.



Figuur 8: Label van Der Blauer Engel

In 2016 werden (vernieuwde) criteria gepubliceerd voor:

- houtpelletkachels (UZ 111, geldig tot 31/12/2020)
- houtpellet- en houtsnipperketels (UZ 112, geldig tot 31/12/2020).

In 2020 werden criteria gepubliseerd voor:

- houtkachels (UZ 212, geldig tot 31/12/2023)

Daarnaast zijn er ook criteria voor houtpellets (DE-UZ 153).

De criteria op gebied van emissies en energie-efficiëntie voor kachels en ketels zijn samengevat in Tabel 13. De emissies zijn uitgedrukt bij een referentiezuurstofgehalte van 13%. De toestellen worden zowel bij nominaal vermogen als bij deellast getest.

Tabel 13: Criteria voor energie-efficiëntie en emissies voor Der Blauer Engel

Toestel	CO (mg/Nm ³)	NO _x (mg/Nm ³)	OGC (mg/Nm ³)	Stof (mg/Nm ³)	Energie- efficiëntie (%)
Houtkachels (UZ 212)	500	180	70	15 ⁽¹⁾	75
Houtpelletkachels (UZ 111)	160 (nominaal vermogen) 250 (deellast)	150 (nominaal vermogen) 200 (deellast)	8 (nominaal vermogen) 13 (deellast)	15	90
Houtpelletketels (UZ 112)	150	150	5	15	90
Houtsnipperketels (UZ 112)	e165	150	5	15	90

⁽¹⁾ Naast de eis voor de massaconcentratie (in mg/Nm³) is er ook een eis voor het aantal stofdeeltjes. Deze bedraagt $5 \times 10^6 / \text{cm}^3$ en is van toepassing vanaf 1/1/2022.

Voor het behalen van beide eisen mag het effect van een eventueel aanwezige stoffilter mee in rekening worden gebracht. De stoffilter zelf moet een rendement hebben van minimaal 75% voor de massaconcentratie, en minimaal 90% voor het aantal deeltjes. De concentratie vóór de downstream stoffilter mag maximaal 40 mg/Nm³ bedragen.

Voor ketels vervallen de criteria bij deellast indien de ketel is uitgerust met een buffervat, waardoor de ketel enkel bij nominale belasting zal werken.

Voor houtkachels gelden onder andere nog volgende voorwaarden. Het toestel moet luchtdicht zijn, er is een monitoring van de verbranding, en het mag niet mogelijk zijn dat de gebruiker manueel de luchttoevoer kan aanpassen (dit wordt gebruikelijk gerealiseerd door een automatische sturing)

Bijkomend moet ook voldaan zijn aan een reeks van criteria, onder andere op het gebied van

- het elektriciteitsverbruik (tijdens gebruik en in standby)
- de bijhorende installatie- en gebruiksinstructies
- de bijhorende dienstverlening (oa onderhoudscontracten, technische opleiding voor installateurs en verkopers, adviezen, beschikbaarheid reserve onderdelen, ...)
- brandstofkwaliteit (informerende van de gebruikers over de geschikte brandstoffen)
- het milieuvriendelijk ontwerp (oa recycleerbaarheid).

Voor de drie categorieën was er in maart 2020 geen enkele aanbieder (https://www.blauer-engel.de/sites/default/files/vergabekriterien_übersicht_branchen_eng_2020_0_1.pdf).

Meer informatie:

- Algemene info over Der Blauer Engel
<https://www.blauer-engel.de>
- Criteria voor Houtkachels (UZ 212)
https://produktinfo.blauer-engel.de/uploads/criteriafile/en/DE-UZ%20212_202001_en_criteria.pdf

- Criteria voor Houtpelletkachels (UZ111)
<https://produktinfo.blauer-engel.de/uploads/criteriafile/en/DE-UZ%20111-201602-en%20Criteria.pdf>
- Criteria voor Houtpellet- en houtsnipperketels (UZ 112)
<https://produktinfo.blauer-engel.de/uploads/criteriafile/en/DE-UZ%20112-201602-en%20Criteria.pdf>

→ **The Nordic Swan (Zweden, Noorwegen, Denemarken en Finland)**

De Nordic Swan (zie Figuur 9) werd in 1989 opgericht door de Nordic Council of Ministers als een ecolabelling schema voor Zweden, Noorwegen, Denemarken en Finland.



Figuur 9: Label van de Nordic Swan

In 2014 werden (vernieuwde) criteria gepubliceerd voor:

- kachels (pelletkachels, tegelkachels, houtkachels, haarden en inzettoestellen, geldig tot 30/06/2022)
- ketels op vaste biobrandstoffen (pelletketels, houtketels, houtsnipperketels, geldig tot 31/03/2021)

Daarnaast zijn er ook criteria voor vaste brandstoffen (inclusief briketten, brandhout, pellets en houtsnippers).

De criteria op gebied van emissies en energie-efficiëntie voor houtkachels en -ketels zijn samengevat in Tabel 14. De emissies worden gemeten bij nominale belasting en zijn uitgedrukt bij een referentiezuurstofgehalte van 13% voor kachels en 10% voor ketels. Voor automatisch gestookte ketels gelden de normen ook bij deellast (uitgezonderd voor stof bij ketels ≤ 20 kW).

Tabel 14: Criteria voor energie-efficiëntie en emissies voor de Nordic Swan

Toestel	CO (mg/Nm ³)	OGC (mg/Nm ³)	Stof ⁽¹⁾	NOx (mg/Nm ³)	Energie- efficiëntie (%)
Manueel gestookte kachel of inzetkachel voor niet- continu gebruik	1250	100	2 g/kg brandstof (gemiddelde voor max. 4 ladingen) 5 g/kg brandstof (voor elke lading)		76

Manueel gestookte warmte-accumulerende toestellen	1250	100	50 mg/m ³		83
Automatisch gevoede pelletkachel	200	10	15 mg/m ³		87
Manueel gestookte ketel	350	15	40 mg/m ³	200	87 + log(output)
Automatisch gestookte ketel	250	10	30/40 mg/m ³	200	88 + log(output)

⁽¹⁾ eisen in g/kg gemeten volgens de methode met 'stroomverduunningstunnel', eisen in mg/m³ direct in de hete rookgassen. Zie paragraaf 3.4.1 voor meer informatie over de gebruikte meetmethoden.

Bijkomend moet ook voldaan zijn aan een reeks van criteria op het gebied van

- het productieproces (oa gebruikte materialen).
- het elektriciteitsverbruik (bij nominaal vermogen)
- informatie voor de klant (installatiehandleiding, gebruiks- en onderhoudsinstructies)
- informatie voor verdelers en installateurs (vereiste competenties, dimensionering, reserveonderdelen)
- de bijhorende dienstverlening (oa onderhoudscontracten, technische opleiding voor installateurs en verkopers, adviezen, beschikbaarheid reserve onderdelen, ...)

Er werd geen informatie teruggevonden over het aantal kachels of ketels die het Nordic Swan label dragen.

Meer informatie:

- Algemene info over The Nordic Swan
<https://www.nordic-ecolabel.org/>
- Criteria voor kachels
<https://www.nordic-ecolabel.org/product-groups/group/?productGroupCode=078>
- Criteria voor ketels op vaste biobrandstoffen
<https://www.nordic-ecolabel.org/product-groups/group/?productGroupCode=060>

→ Umweltzeichen 37 (Oostenrijk)

Het Umweltzeichen 37 is een milieulabel dat in Oostenrijk werd opgericht in 1990 door het federale milieuministerie.



Figuur 10: Label van Umweltzeichen 37

In 2017 werden (vernieuwde) criteria gepubliceerd voor hout gestookte verwarmingssystemen (UZ 37).

Daarnaast zijn er ook criteria voor brandstoffen op basis van biomassa (UZ 38).

De criteria op gebied van emissies en energie-efficiëntie voor houtkachels en -ketels zijn samengevat in Tabel 15. Tenzij anders vermeld worden de emissies gemeten bij nominaal vermogen.

Tabel 15: Criteria voor energie-efficiëntie en emissies voor het Umweltzeichen 37

Toestel	CO (mg/MJ)	NOx (mg/MJ)	C _{org} (mg/MJ)	Stof (mg/MJ)	Energie- efficiëntie (%)
Kachel – manueel gestookt	650 (nominaal vermogen) - (deellast)	120	45	30	80
Kachel – automatisch gestookt	115 (nominaal vermogen) 230 (deellast)	100	5 (nominaal vermogen) 9 (deellast)	15	90
Ketel – manueel gestookt	180 (nominaal vermogen) 500 (deellast)	100	15	20	71,3 + 7,7 log (output)
Ketel – automatisch gestookt - pellets	45 (nominaal vermogen) 100 (deellast)	100	3 (nominaal vermogen) 3 (deellast)	15	90
Ketel – automatisch gestookt - snippers	120 (nominaal vermogen) 200 (deellast)	100	4 (nominaal vermogen) 6 (deellast)	25	90

Voor ketels kan afgeweken worden van de criteria bij deellast indien de ketel is uitgerust met een buffervat, waardoor de ketel enkel bij nominale belasting zal werken.

Bijkomend moet ook voldaan zijn aan een reeks van criteria op het gebied van

- het warmteverlies door straling bij ketels
- het elektriciteitsverbruik
- de brandveiligheid
- informatie over de buffer opslag
- de gebruikte materialen

- het productieproces
- de verpakking
- de bijhorende dienstverlening (oa onderhoudscontracten, technische opleiding voor installateurs en verkopers, adviezen, beschikbaarheid reserve onderdelen, ...)
- informatie met betrekking tot die installatie
- onderhoud.

In april 2019 mochten 50 fabrikanten (voornamelijk Oostenrijkse, maar ook enkele Duitse, Zwitserse en Italiaanse) het Umweltzeichen 37 gebruiken voor één of meerdere van hun toestellen.

Meer informatie:

- Algemene info over het Umweltzeichen 37
<https://www.umweltzeichen.at/en/home/start>
- Criteria voor houtgestookte verwarmingssystemen (UZ 37)
https://www.umweltzeichen.at/file/Guideline/UZ%2037/Long/Uz37_R6.0a_wood_fired_heating_systems_2017.pdf

→ Flamme Verte (Frankrijk)

Flamme Verte werd in 2000 gelanceerd door de fabrikanten van huishoudelijke houtverwarmingstoestellen met ondersteuning van het Franse ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie). Oorspronkelijk werd gewerkt met een sterrensysteem (naar analogie met hotels of restaurants), waarbij toestellen 1, 2 of 3 sterren kregen toegekend op basis van 3 criteria: het energetisch rendement, de CO-emissies, en de stofemissies. Later werden emissies van OGC toegevoegd als 4^{de} criterium. Het systeem werd in de loop der jaren systematisch verstrengd, doordat enerzijds lagere klassen het label niet meer mochten dragen, en anderzijds hogere klassen werden gecreëerd. Anno 2019 mogen enkel nog toestellen met 6 of 7 sterren het label dragen, vanaf 1 januari 2020 enkel nog toestellen met 7 sterren (zie Figuur 11).



Figuur 11: 7-sterren label van Flamme Verte

De criteria op gebied van emissies en energie-efficiëntie voor houtkachels en -ketels zijn samengevat in Tabel 16. De emissies zijn uitgedrukt bij een referentiezuurstofgehalte van 13% voor kachels en 10% voor ketels.

Tabel 16: Criteria voor energie-efficiëntie en emissies voor Flamme Verte

Toestel	CO (mg/Nm ³)	NOx (mg/Nm ³)	C _{org} (mg/Nm ³)	Stof (mg/Nm ³)	Energie- efficiëntie (%)
Kachel – stukhout	0,15 % (6 🏠) 0,12 % (7 🏠)			50 (6 🏠) 40 (7 🏠)	75
Kachel – pellets	0,03 % (6 🏠) 0,02 % (7 🏠)			40 (6 🏠) 30 (7 🏠)	86
Ketel – manueel gestookt	600 (6 🏠) 500 (7 🏠)		30	40 (6 🏠) 30 (7 🏠)	87
Ketel – automatisch gestookt	450 (6 🏠) 300 (7 🏠)		20	30 (6 🏠) 20 (7 🏠)	87

In 2019 zouden nog criteria voor OGC voor kachels worden toegevoegd, en criteria voor NOx.

Toestellen van meer dan 100 merken dragen het Flamme Verte label. Bij aankoop van een toestel met Flamme Verte label kan de koper een financiële tegemoetkoming krijgen van de overheid.

Meer informatie:

- Algemene info over Flamme Verte
<https://www.flammeverte.org/>
- Criteria voor 6 en 7 sterren
<https://www.flammeverte.org/decouvrir-flamme-verte/comprendre-etiquette>

HOOFDSTUK 3. PROCESBESCHRIJVING EN MILIEUASPECTEN

In dit hoofdstuk beschrijven we de typische procesvoering bij huishoudelijke houtverwarming alsook de bijhorende milieu-impact. Tevens geven we een algemeen beeld van de werking van de diverse toesteltypes. Dit vormt de achtergrond om in hoofdstuk 4 de milieuvriendelijke technieken te beschrijven die kunnen toegepast worden om de milieu-impact te verminderen.

De details van de gebruikte toestellen verschillen in de praktijk van kachelbouwer tot kachelbouwer. Niet alle mogelijke varianten in toestellen worden in dit hoofdstuk beschreven. Ook kan de uitvoering in de praktijk complexer zijn dan hier beschreven.

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

3.1. ALGEMENE ASPECTEN EN EMISSIES VAN HOUTVERBRANDING

3.1.1. HET HOUTVERBRANDINGSPROCES

Houtverbranding is een complex proces waarbij houtgas reageert met zuurstof uit de verbrandingslucht en waarbij warmte vrijkomt. Binnen het proces kan grofweg onderscheid gemaakt worden tussen 3 deelfases, die elk op zich nog uit een complex geheel van processen en reacties omvatten:

- Droogfase = verdamping van vrij water
- Vergassingsfase = vergassing en verbranding van vluchtige bestanddelen
- Uitbrandfase = verbranding van houtskool

Deze 3 processen verlopen niet strikt consecutief, maar kunnen simultaan plaatsvinden op verschillende plaatsen in een verwarmingstoestel.

→ Droogfase

In de droogfase warmt het hout op en verdampt het aanwezige vocht.

Vochtig hout → Droog hout + waterdamp

Verdamping van water vraagt energie. Hoe vochtiger het hout, hoe meer water zal verdampen, en hoe meer energie nodig is voor de droogfase. Dit zal de temperatuur van de rookgassen verlagen en is nadelig voor de energieopbrengst van het verbrandingsproces en voor de emissies (zie paragraaf 3.1.4).

→ Vergassingsfase

Als het droge hout verder opwarmt, start de vergassingsfase. Hierbij worden, door een combinatie van pyrolysereacties en verdamping, vluchtige componenten uit het hout vrijgesteld. De chemische samenstelling van de vrijgestelde gassen is afhankelijk van de aard van het hout en de

procesomstandigheden (oa temperatuur). Een aanzienlijk deel van het hout (ca. 80%) wordt in vluchtige componenten omgezet. De vluchtige componenten verbranden vervolgens, onder vrijstelling van warmte en licht (vlammen). Hierbij wordt – bij volledige verbranding – CO₂ en water gevormd. De vaste fase die overblijft op het eind van dit proces is houtskool, en bestaat uit C en anorganische verbindingen, waaronder zouten en metaaloxiden.

Droog hout → Houtskool (C) + Vluchtige componenten (CH)

Vluchtige componenten (CH) + O₂ → CO₂ + H₂O

→ Uitbrandfase

De overblijvende houtskool brandt vervolgens verder uit in de uitbrandfase. Hierbij wordt – bij volledige verbranding – CO₂ gevormd. Tijdens de uitbrandfase gloeit het houtskool nog na, maar zijn geen vlammen meer zichtbaar omdat er geen vluchtige componenten meer vrijkomen. Aan het eind van het proces blijft een asrest over.

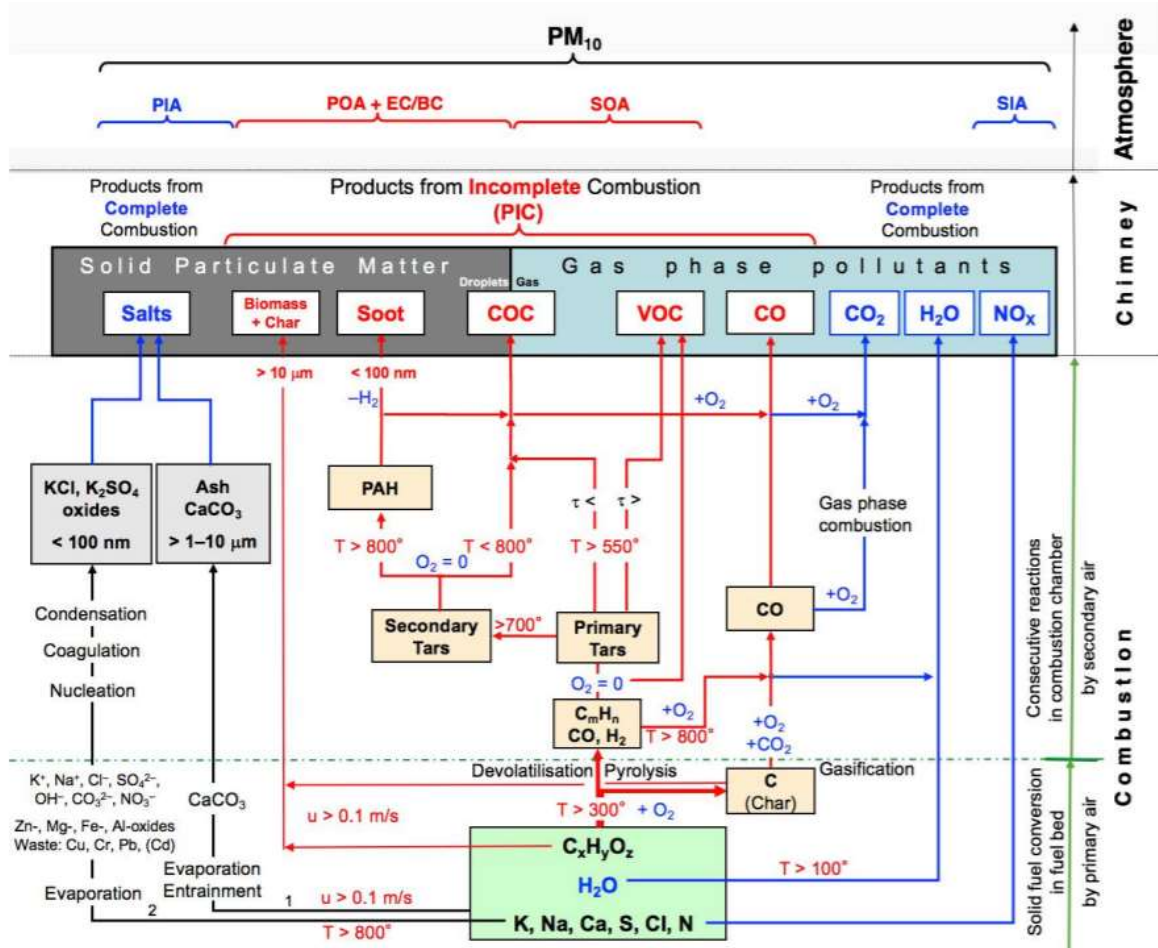
C (houtskool) + O₂ → CO₂ + asrest

3.1.2. EMISSIEVORMING BIJ HOUTVERBRANDING

De emissies als gevolg van houtverbranding kunnen worden onderverdeeld in 3 groepen:

- Primaire emissies als gevolg van onvolledige verbranding
- Primaire emissies als gevolg van anorganische bestanddelen in het hout
- Secundaire deeltjes (aerosolen) gevormd door condensatie en/of chemische reacties in de atmosfeer.

Een gedetailleerd overzicht van de reacties betrokken bij de emissievorming wordt voorgesteld in Figuur 12.



Figuur 12: Vorming van emissies bij biomassaverbranding (Nussbaumer, 2017)

→ Emissies door onvolledige verbranding

Bij volledige verbranding wordt de koolstof in het hout volledig omgezet in CO₂. In de praktijk echter is een verbrandingsproces nooit helemaal volledig, en wordt een fractie van het C niet omgezet in CO₂, maar in producten van onvolledige verbranding. Deze producten zijn onder te verdelen in volgende componenten:

- Roet: fijn stofdeeltjes bestaande uit C, mogelijk verontreinigd met bv. PAK's en metalen, afhankelijk van de meetmethode bepaald als elementair koolstof (EC) of black carbon (BC)
- Condenseerbare organische stoffen (COC): organische componenten die in gasvormige toestand aanwezig zijn in de rookgassen, maar bij afkoeling condenseren op vaste deeltjes of als druppeltjes
- Vluchtige organische stoffen (VOS), ondermeer benzeen, fenolen, aldehyden, PAK's³ (met name benzo(a)pyreen): organische componenten die in gasvormige toestand aanwezig zijn in de rookgassen, en ook na afkoeling gasvormig blijven
- CO: koolstofmonoxide
- Dioxines en furanen: Bij een te lange verblijftijd tussen +/- 180 en 500 °C kunnen eventueel dioxines gevormd worden door *de novo* synthese. Hiervoor zijn naast koolstof, waterstof,

³ Zwaardere PAK's condenseren op stof(roet)deeltjes, lichtere PAK's zoals benzo(a)pyreen blijven in de gasfase.

zuurstof en chloor ook katalytisch actieve metalen (bv. Cu, Fe of Cd) nodig, die aanwezig zijn op de asdeeltjes.

- Houtstof: kleine deeltjes onverbrand hout

→ Emissies door aanwezigheid van anorganische componenten in het hout

Naast producten van onvolledige verbranding, doen zich bij houtverbranding ook emissies voor als gevolg van de aanwezigheid van anorganische componenten in het hout. De belangrijkste emissies zijn:

- Zouten (KCl, K₂SO₄, CaCO₃, CaO, ...): Aanwezigheid van mineralen in het hout leidt tot aanwezigheid van zouten in het fijn stof. Bij onvolledige verbranding hebben deze zouten slechts een beperkt aandeel in de totale fijn stof emissie, omdat deze voornamelijk uit roet bestaat. Naarmate de verbranding vollediger is, daalt het aandeel roet in het fijn stof en neemt het aandeel zouten toe.
- (Zware) metalen: Aanwezigheid van (zware) metalen in het hout, kan leiden tot emissies van (zware) metalen (oa. Cd, Cr, Zn), veelal gebonden aan het fijn stof.
- NO_x: Stikstof in het hout leidt tot de vorming van NO_x (zogenaamde brandstof NO_x). Daarnaast kan NO_x ook gevormd worden uit N₂ aanwezig in de verbrandingslucht (zogenaamde thermische NO_x).

→ Aerosolen gevormd door afkoeling van de rookgassen

Naarmate de rookgassen afkoelen in het rookgaskanaal, zullen de bepaalde condenseerbare organische stoffen (COC) condenseren onder vorming van **aerosolen**. Deze leveren een bijdrage aan de totale stofuitstoot. Ook anorganische verbindingen (oa metalen) kunnen condenseren.

De COC zijn niet altijd inbegrepen in de gerapporteerde emissiecijfers. Dit komt doordat met de gangbare meetmethoden stof gemeten wordt in de nog hete rookgassen. Er zijn ook alternatieve meetmethoden waarbij de condenseerbare fractie wel deels wordt meebepaald (zie paragraaf 3.4.1 voor meer informatie over de gebruikte meetmethoden).

→ Secundair, in de atmosfeer gevormde aerosolen

De uitgestoten primaire emissies zullen in de atmosfeer aanleiding geven tot secundair gevormde aerosolen (stofdeeltjes), door omzetting van gas- en dampvormige koolwaterstoffen (VOS) en CO tot secundaire organische aerosolen (SOA). De vorming van secundaire deeltjes wordt mede beïnvloed door omgevingsfactoren (bv. atmosferische omstandigheden (wind, temperatuur, ...) en aanwezigheid van precursoren van andere oorsprong).

Onderzoek geeft aan dat de vorming van secundaire organische aerosolen in de atmosfeer zeer intens is, en binnen een relatief korte tijdsschaal (uren) plaatsvindt (Tiitta, Leskinen, Hao, Yli-Pirila, & Kortelainen, 2016) . De vorming van secundair gevormde aerosolen levert hierdoor een aanzienlijke bijdrage aan de impact van huishoudelijke houtverwarming op de luchtkwaliteit. Deze componenten zijn niet inbegrepen in de gerapporteerde emissiecijfers.

3.1.3. VOORWAARDEN VOOR VOLLEDIGE VERBRANDING

Met het oog op het verhogen van het energetische rendement en het verlagen van emissies, is het belangrijk om te komen tot een zo volledig mogelijk verbrandingsproces. Hiervoor moeten 3 condities vervuld zijn (de 3 T's):

- Temperatuur
- Turbulentie (om lokale zuurstoftekorten te vermijden)
- Tijd (verblijftijd)

Deze worden alle 3 beïnvloed door het ontwerp en de installatie van het toestel, maar ook door de kwaliteit van het gebruikte hout, en het stookgedrag van de gebruiker (zie paragraaf 3.1.4). Als voor de 3 T's geen optimale condities bereikt worden, is de verbranding onvolledig en verhogen de emissies.

→ Temperatuur

Bij hogere verbrandingstemperatuur verlopen de verbrandingsreacties sneller en vollediger dan bij lagere temperaturen. De verbrandingstemperatuur wordt mede beïnvloed door het ontwerp van de verbrandingskamer (gebruikte materialen, isolatie, ...) en door de temperatuur van de verbrandingslucht (voorverwarming van de verbrandingslucht kan de verbrandingstemperatuur doen stijgen). Voor het bereiken van een hoge verbrandingstemperatuur is het ook belangrijk dat warmteverliezen uit de verbrandingskamer beperkt blijven.

→ Turbulentie

Een goede menging van de vrijgestelde gassen met voldoende lucht (zuurstof) is belangrijk om tot volledige verbranding te komen. Hiervoor moet in de eerste plaats voldoende lucht worden ingebracht, zodat een globaal zuurstoftekort vermeden wordt. Zelfs bij voldoende luchttoevoer kunnen zich lokaal zuurstoftekorten voordoen als er onvoldoende menging (turbulentie) is met de te verbranden gassen. Turbulentie kan verhoogd worden door het invoeren van voldoende secundaire (en eventueel tertiaire) lucht en door te zorgen voor voldoende trek (natuurlijk of geforceerd, bv. met een rookgasventilator), om een voldoende onderdruk in de verbrandingskamer en toereikende aanvoer van zuurstof te garanderen. Ook een goede stapeling van de houtblokken, met voldoende vrije ruimte tussen de blokken voor een goede luchtcirculatie, is hierbij van belang.

→ Tijd

Om volledige verbranding te komen, moeten de vrijgestelde gassen voldoende lang aanwezig blijven in de zone waar de verbranding plaatsvindt en de secundaire lucht wordt ingebracht.

3.1.4. FACTOREN DIE DE VERBRANDINGSKwaliteit EN DE EMISSIES BEÏNVLOEDEN

De factoren die de verbrandingskwaliteit en daardoor de emissies beïnvloeden kunnen globaal opgedeeld worden in 5 groepen:

- Toestelontwerp
- Kwaliteit (vochtgehalte, samenstelling, afmetingen, ...) van de gebruikte houtbrandstof
- Installatie van het toestel
- Gedrag van de gebruiker

- Onderhoud van toestel en rookgaskanaal

Naast deze factoren spelen ook weersomstandigheden een belangrijke rol in de impact van huishoudelijke houtverwarming op de luchtkwaliteit. Zo zullen windstil weer en temperatuursinversie ervoor zorgen dat de dispersie van de stofemissies belemmerd wordt, met negatieve invloed op de luchtkwaliteit tot gevolg.

→ Toestelontwerp

Het toestelontwerp bepaalt in belangrijke mate de verbrandingscondities (temperatuur, turbulentie, tijd – zie paragraaf 3.1.3) en daarmee ook de emissies en het energetisch rendement. Voor meer informatie over het toestelontwerp en emissiebeperkende maatregelen, wordt verwezen naar paragrafen 4.1 en 4.2.

Bij toestellen voor continu gebruik (zie paragraaf 2.1.2) zijn de emissies tijdens de fase van effectieve verbranding gelijkaardig aan andere systemen. Bij continue toestellen wordt de laatste fase zonder vlam (smeulen) echter zo lang mogelijk aangehouden en dit heeft een negatieve invloed op de emissies. Continue systemen zijn bijgevolg veel complexer om de emissies onder controle te houden.

→ Kwaliteit van de gebruikte houtbrandstof

Ook de kwaliteit (vochtgehalte, chemische samenstelling, hardheid, afmetingen, aandeel schors, ...) van de gebruikte houtbrandstof kan in belangrijke mate de verbrandingskwaliteit en daardoor ook de emissies, met inbegrip van geur, beïnvloeden. Elk type toestel is in principe ontworpen om een bepaalde kwaliteit hout te verbranden. Pelletkachels of -ketels bijvoorbeeld zijn ontworpen op houtpellets met een specifieke technische kwaliteit, bv. ENplus A1. Toestellen die met stukhout gestookt worden, zijn vaak geoptimaliseerd voor houtblokken met bepaalde afmetingen. Wanneer hout van afwijkende kwaliteit gestookt wordt, zal het proces niet optimaal verlopen, en zullen emissies toenemen.

Voor stukhoutgestookte kachels is met name het **vochtgehalte** van het hout een belangrijke parameter. Het optimale vochtgehalte voor stukhout ligt tussen 10% en 20%. Bij te nat hout duurt de droogfase te lang, waardoor de verbranding moeilijk op gang komt en de temperatuur te laag blijft, wat resulteert in een lagere energieopbrengst en hogere emissies. Bovendien neemt de waterdamp een zeer groot volume in de verbrandingsruimte in. Het verdringt hierbij verbrandingslucht waardoor te weinig zuurstof beschikbaar is voor een goede verbranding. Te droog hout is echter ook niet goed, omdat de plotselinge grote hoeveelheid vrijkomende gassen kan leiden tot zuurstofgebrek en roetvorming. Er is dus sprake van een optimaal vochtgehalte. Pellets die het ENplus certificaat dragen, hebben een maximale vochtigheidsgraad van 10%.

Ook de **chemische samenstelling** van het hout is van belang. Zoals eerder aangegeven leidt de aanwezigheid van anorganische componenten in het hout tot emissies van fijn stof. Dit soort emissies is vooral bij goede verbrandingscondities (bv. in pelletkachels of -ketels) bepalend voor de totale stofuitstoot. Uit onderzoek op pellets van 42 verschillende leveranciers, die allen voldeden aan de ENplus A1 standaard, bleek dat het type pellets de emissies van fijn stof met een factor 5 kan beïnvloeden. Ook bij houtblokken kan de hoeveelheid anorganische componenten variëren. Zo kan de stofuitstoot bij verbranding van hout met veel bast (bv. takhout) hoger uitvallen dan bij verbranding van hout zonder schors. Bij minder goede verbrandingscondities is de invloed van de chemische samenstelling op de emissies doorgaans minder doorslaggevend, omdat emissies door

onvolledige verbranding hier relatief belangrijker zijn. Hout met hars (bv. dennen- en sparrenhout) geeft aanleiding tot meer roetvorming, en zal hierdoor het rookgaskanaalsneller vervuilen, waardoor de kans op schoorsteenbranden toeneemt.

Ook de **afmetingen en vorm** (lengte en dikte) van de brandstof bepalen de verbrandingscondities. Kleine stukken hout hebben een grotere oppervlakte/volume verhouding en branden hierdoor sneller dan grotere stukken hout. Bij gebruik van te lange stukken hout is er onvoldoende ruimte tussen de wanden van de verbrandingskamer en de houtblokken, wat nadelig is. De optimale grootte van houtblokken (lengte en dikte) varieert van toestel tot toestel, afhankelijk van het toestelontwerp en bedraagt doorgaans max. 25-30 cm. Bij een gemiddelde kachel moet de dikte van een blok hout tussen 6 en 12 cm bedragen (omtrek ca 20-30 cm). Voor het aansteken van de kachels is het van belang dat het verbrandingsproces snel op gang komt, hiervoor zijn kleinere stukken hout nodig. Pellets die het ENplus certificaat dragen, hebben een doorsnede van 6 mm (+/- 1) en een lengte tussen 3,15 en 40 mm.

→ **Installatie van het toestel**

De manier waarop het toestel geïnstalleerd wordt, beïnvloedt de prestaties. Zo zal een toestel met een vermogen dat te groot is voor de ruimte waarin het geplaatst wordt, niet kunnen werken onder optimale condities, bv. doordat gebruikers de neiging zullen hebben de luchttoevoer te beperken om de warmteproductie te verminderen. Ook de uitvoering van het rookgaskanaal (oa voldoende lang, dubbelwandig) is van belang om voldoende trek te garanderen, condensatie van de gassen in het rookgaskanaal te vermijden en de rookgassen voldoende hoog te emitteren.

→ **Gedrag van de gebruiker**

Ook het gedrag van de gebruiker is van belang: de wijze van aansteken, het bijvoeden, en de regeling van de luchttoevoer zijn voorbeelden van factoren die van grote invloed kunnen zijn op de verbrandingskwaliteit en dus op de emissies. Naarmater toestellen meer automatisch in plaats van manueel gevoed en geregeld worden, wordt de invloed van de gebruiker beperkter.

→ **Onderhoud van toestellen en rookgaskanaal**

Tot slot is ook onderhoud belangrijk voor een behoud van de optimale werking van een toestel. Het gaat hier niet alleen over het onderhoud van het toestel zelf, maar ook van het rookgaskanaal.

3.2. DE GEBRUIKTE BRANDSTOFFEN

Houtbrandstoffen die geschikt zijn voor huishoudelijke houtverwarming kunnen onderverdeeld worden in houtblokken, briketten en pellets. Het gebruik van houtspaanders (snippers) in huishoudelijke toepassingen is zeer beperkt.

Houtblokken kunnen afkomstig zijn van verschillende boomsoorten. Een aantal soorten die als brandhout aangeboden worden zijn:

- essenhout
- berkenhout
- eikenhout
- elzenhout

- haagbeuk
- fruitbomenhout

Blokken van naaldhout worden afgeraden als hoofdbrandstof voor een stookhoutkachel. In de schors van naaldhout bevindt zich veel hars, hetgeen voor vervuiling van de kachel en het rookgaskanaal kan zorgen.

Houtblokken die via de officiële verkoopkanalen worden aangeboden zijn veelal voorgedroogd, en zijn op maat gebracht. Brandhout dat via informele circuits wordt aangeboden, bv. door privé boseigenaars, kan sterk uiteenlopende eigenschappen hebben, en moet vaak door de koper nog op maat worden gekleefd en gedroogd.

Houtbriketten zijn gemaakt van geperste houtkrullen en houtvezels en kunnen als alternatief voor houtblokken gebruikt worden. Ze kunnen zowel op basis van naaldhout als op basis van loofhout gemaakt zijn. Ze bevatten geen lijmen of andere chemische additieven. Ze hebben ten opzichte van houtblokken het voordeel dat ze niet hoeven gedroogd te worden, en dankzij hun vormgeving (stapelbare blokken) minder opslagruimte nodig hebben. Ze zijn dichter en droger dan natuurlijke blokken, en hebben daardoor een hogere energie-inhoud.

Houtpellets zijn geperste korrels van zaagsel of houtafval, meestal op basis van naaldhout. Ze zijn bedoeld om in speciale pelletkachels of -ketels te gebruiken. Net als briketten bevatten pellets geen chemische additieven en hebben ze een laag vochtgehalte. Ze kunnen zowel in zakken als in bulk geleverd worden, en kunnen als een vloeistof gegoten worden, wat een voordeel is met het oog op automatische voeding van verbrandingstoestellen. Pellets die in België op de markt worden gebracht, moeten voldoen aan de voorwaarden van het Koninklijk Besluit houtpellets (zie paragraaf 2.3.2). Verder bestaan er voor pellets certificatiesystemen met specificaties op het gebied van grondstoffen, fysische en chemische eigenschappen, energie-inhoud, ... De 2 meest voorkomende certificatiesystemen in Vlaanderen zijn DINplus en ENplus (A1 of A2).

Voor alle houtbrandstoffen geldt dat naast de kwaliteitseigenschappen (die de verbrandingskwaliteit beïnvloeden) ook de herkomst van het hout een belangrijk criterium is voor de **duurzaamheid**. Met het oog op CO₂ neutraliteit is het van belang dat het hout afkomstig is van duurzaam beheerde bossen, met minimaal een evenwicht tussen aangroei en kappen. Het FSC of het PEFC-label dat bv. op pellets aanwezig kan zijn, biedt garantie op duurzame houtoogst. Hout kent naast het gebruik als brandstof ook andere, hoogwaardigere toepassingen (bv. productie van meubels, spaanplaten, ...). Voor brandhout of voor aanmaak van briketten of pellets wordt bij voorkeur gebruik gemaakt van houtreststromen die niet geschikt zijn voor hoogwaardigere toepassingen.

3.3. DE GEBRUIKTE TOESTELLEN

De gebruikte toestellen kunnen onderverdeeld worden in volgende types (zie ook paragraaf 2.1.2):

- Open haard
- Inzetkachel en -cassette
- Inbouwkachel
- Voorzetkachel – niet accumulerend
- Accumulatiekachel
- Ketel

De algemene werkingsprincipes van de toestellen worden hieronder kort beschreven. Naast de hieronder beschreven toestellen zijn er ook hybride varianten beschikbaar, toestellen die zowel hout

als pellets kunnen verbranden of toestellen die zowel directe als indirecte warmteafgifte hebben (zie ook paragraaf 2.1.2). Deze combinaties met een cv-koppeling geven over het algemeen hogere rendementen dan hun tegenhangers zonder cv-koppeling.

In hoofdstuk 4 (paragraaf 4.1) wordt uitgebreider stilgestaan bij de specifieke maatregelen die in de toestellen kunnen geïmplementeerd worden met het oog op een verbetering van de verbrandingskwaliteit, een verlaging van de emissies en een verhoging van het energetische rendement.

3.3.1. OPEN HAARDEN

Klassieke open haarden bestaan uit een gemetselde verbrandingskamer in een uitsparing die rechtstreeks verbonden is met het rookgaskanaal. De verbrandingskamer is open aan de voorzijde en kan niet afgesloten worden. Er is wel de mogelijkheid om een haarddeur te plaatsen waardoor de haard afgesloten wordt met een glasraam. Het vuur is steeds zichtbaar. De ontstane warmte wordt afgegeven door middel van straling.

Open haarden worden gebruikt voor het verbranden van stukhout.

Open haarden hebben een laag rendement en worden voornamelijk geïnstalleerd voor het esthetisch effect. Het vermogen van een open haard ligt tussen 5 en 15 kW (European Commission DG TREN, 2009)), het rendement is vrij laag. Ten gevolge van een ongecontroleerde verbranding waarbij er veel lucht aangezogen wordt uit de woonkamer, verdwijnt er vaak meer lucht dan dat er lucht kan opgewarmd worden. Bij koude buitentemperaturen kan hierdoor het rendement zelfs negatief worden omdat de aangezogen koude buitenlucht meer afkoelt dan de afgegeven verbrandingswarmte de kamer opwarmt. Ook als de open haard niet wordt gebruikt, en bij afwezigheid van een goed sluitende schouwklep, zal er via de open haard permanent warme lucht ontsnappen.

Het hoge houtverbruik en de ongecontroleerde verbranding zorgen voor hoge emissies. Bijkomend heeft de houtrook vaak bij het einde van het rookgaskanaal een lage temperatuur en lage stroomsnelheid waardoor de rook doorgaans niet zal stijgen om zich te verdunnen in de atmosfeer maar langs het rookgaskanaal naar beneden zakt.

Het plaatsen van een haarddeur verhoogt het rendement maar belemmert de aanvoer van lucht waardoor er mogelijk geen goede verbranding meer is met een verhoging van de emissies tot gevolg.

Bij open haarden is aan geen enkele voorwaarde van een goede verbranding (temperatuur, turbulentie en tijd) voldaan. Door de grote aanvoer van lucht zijn de warmteverliezen in de verbrandingskamer groot en worden de vrijgestelde gassen snel mee afgevoerd waardoor er in de verbrandingszone weinig vermenging is van deze gassen met de lucht en de verblijfstijd eerder kort is.

3.3.2. INZETKACHEL OF CASSETTE

Een inzetkachel of cassette (Figuur 13) is een toestel dat wordt ingebouwd in een bestaande schoorsteenopening (open haard) of een schoorsteenbehuizing/wand en is gericht op lokale warmteafgifte. Een inzetkachel of cassette heeft steeds een deur die de verbrandingskamer afsluit en beschikt over een gecontroleerde luchttoevoer. Hierbij worden de visuele voordelen van een open haard gecombineerd met de technische eigenschappen van een kachel. Moderne inzetkachels/cassettes beschikken over volgende eigenschappen om het verbrandingsproces te

optimaliseren: getrapte luchttoevoer, aanwezigheid vlamkeerplaat, aanwezigheid van isolatie in de verbrandingskamer,... Deze technieken dragen bij aan de 3T's (temperatuur, turbulentie en tijd) die een positieve invloed hebben op het verbrandingsproces. De gesloten verbrandingskamer bijvoorbeeld zorgt voor een hogere temperatuur en warmtebehoud bij het verbrandingsproces, de aanwezigheid van een vlamkeerplaat en de getrapte luchttoevoer verhogen de turbulentie en de tijd dat de ontstane gassen in de verbrandingszone blijven. Een uitgebreidere beschrijving van alle mogelijke maatregelen om het verbrandingsproces te optimaliseren is gegeven in paragraaf 4.1.



Figuur 13: Inzethaard (Ademe, 2018)

Door de betere verbranding hebben inzetkachels/cassettes voor hout een hoger rendement en lagere emissies dan open haarden. Het vermogen van een inzethaard met hout ligt tussen 5 en 10 kW (European Commission DG TREN, 2009), het rendement bedraagt volgens Ademe (Ademe, 2018) voor oude modellen (meer dan 10 jaar) 30% tot 60%, en voor moderne toestellen 65% tot 85%. De warmteoverdracht gebeurt via stralings- en convectiewarmte. De stralingswarmte kan enkel afgegeven worden via het glas. Het merendeel van de warmteoverdracht gebeurt door middel van convectiewarmte, hiervoor zijn extra luchtkanalen en een ventilator vereist. Technisch gezien is het ook mogelijk om een indirecte warmteafgifte hieraan te koppelen, maar in de praktijk wordt het niet toegepast aangezien de ruimte beperkt is en deze indirecte warmteafgifte extra ruimte vraagt, oa overkookbeveiliging, koud water toevoer, veiligheidstechnieken voor een CV-koppeling,...

Naast inzetkachels/cassettes geschikt voor het verbranden van hout, zijn er ook modellen voor het verbranden van pellets. Echter de toepassing van een inzetkachel/cassette voor pellets in een bestaande opening kent ook een aantal belangrijke nadelen door de minder optimale omstandigheden ten gevolge van de beperkte ruimte:

- Kleine bufferopslag: systeem kan slechts van een beperkte hoeveelheid pellets voorzien worden, hierdoor moeten de pellets vaker aangevuld worden
- Lager rendement ten opzichte van inbouw of vrijstaande pelletkachel
- Algemeen lager vermogen (7-9kW) ten opzichte van inbouw of vrijstaande pelletkachel.

De bestaande schouw is vaak te groot waardoor de trek in de schouw een negatief effect kan hebben op het verbrandingsproces. Dit kan opgelost worden door het plaatsen van een inox buis met de juiste diameter in de bestaande schouw (zie paragraaf 4.5.2).

3.3.3. INBOUWKACHEL

Inbouwkachels zijn technisch (luchttoevoer, warmteoverdracht,...) en visueel (enkel voorzijde zichtbaar) vergelijkbaar met inzetkachels of cassettes. Een belangrijk verschil is dat bij een inbouwkachel de schouw om het toestel heen gebouwd wordt (voornamelijk nieuwbouw of grondige renovatie) in tegenstelling tot bij een inzetkachel of cassette die in een bestaande opening wordt geplaatst (zie Figuur 14). Inbouwkachels zijn bijgevolg minder beperkt in de ruimte die ze kunnen benutten voor het verbeteren van de optimale werking en het verhogen van het rendement. De ruimte boven de verbrandingskamer kan onder andere benut worden voor naverbranding en extra warmte afgifte. Door de extra ruimte is een combinatie met een cv-koppeling eveneens mogelijk. Bij inbouwkachels kan er ook gebruik gemaakt worden van een liftdeur, waarbij er gestookt kan worden met gesloten of open deur, om het effect van een open haard te creëren. Moeilijkheid bij deze toestellen is dat deze bij gesloten deur, luchtdicht zouden moeten kunnen werken. Luchtdichtheid bij liftdeuren is niet evident maar wel mogelijk, het vereist een complexe deur. Moderne liftdeuren beschikken bijvoorbeeld over een veersysteem dat de deur tegen het kader aandrukt wanneer ze gesloten wordt maar voor de rest wel toelaat dat de deur vrij langs het kader beweegt zonder slijtage aan de dichting. De luchtdichtheid bij deze systemen verschilt weinig van deze bij een klapdeur of scharnierende deur waar luchtdichtheid eveneens vereist is maar technisch makkelijker haalbaar.



Figuur 14: Inbouwkachel (Ademe, 2018)

Inbouwkachels zijn typisch nieuwbouw toestellen waar de warmte op natuurlijke wijze wordt afgegeven aan de schouwmantel/wand. Dit in tegenstelling tot inzetkachels/cassettes die vaak als retrofit in een bestaande mantel of open haard worden geplaatst. Inzetkachels/cassettes kunnen terug worden weggenomen zonder dat er grote breekwerken nodig zijn.

Inbouwkachels met pellets staan meestal op een metalen frame (makkelijker voor onderhoud) en zijn voorzien van een groot buffervat en voldoende plaats voor de motoren. Hierdoor kan men een rendement halen van meer dan 80% en een vermogen tot 15kW.

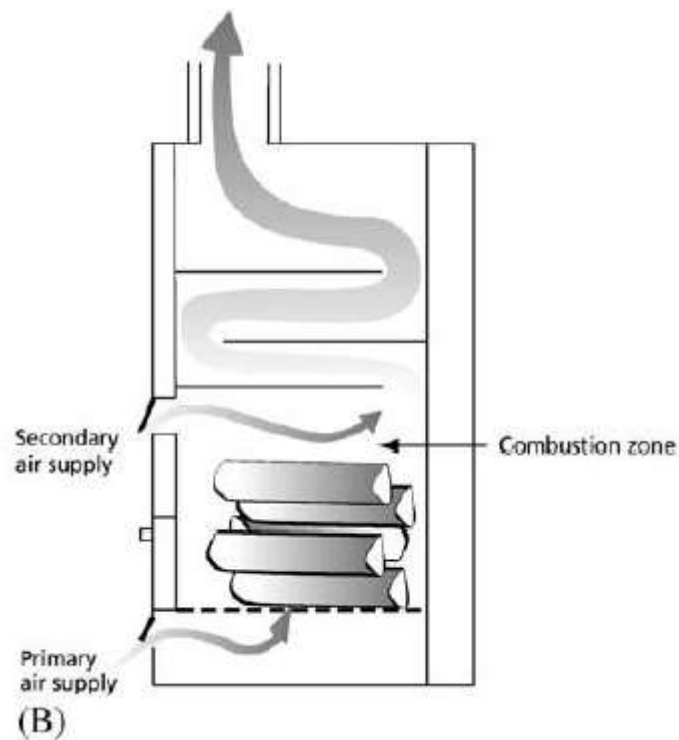
3.3.4. VOORZETKACHEL – NIET ACCUMULEREND

Voorzetkachels zijn vrijstaande toestellen voor lokale warmteafgifte, vervaardigd uit gietijzer of staal met een gesloten verbrandingskamer, vuurvaste binnenbekleding en vaak zijn ze voorzien van een glasraam voor het esthetisch effect. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen stukhoutgestookte kachels en pelletgestookte kachels. Er zijn ook modellen beschikbaar die zowel geschikt zijn voor pellets als voor stukhout. Deze modellen zijn gebaseerd op een pelletkachel maar hebben een extra rooster voor stukhout en de verbrandingskamer wordt eveneens geoptimaliseerd voor stukhout. Het voordeel van deze systemen is dat ze het comfort hebben van pellets (automatische regeling) en toch ook het vuurzicht/gezelligheid van stukhoutgestookte toestellen. Men kan bijvoorbeeld opstarten met pellets en verder stoken met hout. Aangezien voor deze combitoestellen nog geen norm bestaat, moeten deze voor beide gekeurd worden. In het verleden was er ook de combinatie hout/steenkool maar dit komt steeds minder voor.

Bij stukhoutgestookte toestellen wordt er meestal manueel gevuld met stukhout of briketten. De warmteoverdracht naar de omgeving gebeurt voornamelijk via straling. Doordat het vrijstaande toestellen zijn kan de warmte vlot weg en hebben ze hierdoor meestal een hoger rendement dan inbouw- of inzetkachels. Het rendement bedraagt volgens Ademe (Ademe, 2018) 40% tot 60% voor oudere kachels (meer dan 10 jaar) en 70% tot 85% voor moderne hoogrendementskachels. Er is een ruim aanbod van verschillende types kachels, enerzijds op basis van esthetische voorkeuren en anderzijds op basis van technische aspecten als luchttoevoer, brandstoftoevoer, controle verbrandingsproces,...

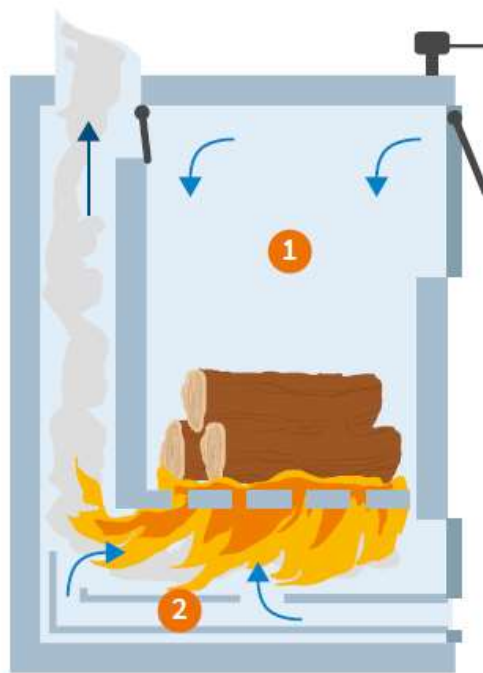
Bij de meeste modellen is de verbranding geregeld via toevoer van primaire en secundaire verbrandingslucht. Er wordt hierbij een onderscheid gemaakt tussen 3 types:

- Kachels met opwaartse trek: hierbij wordt de verbrandingslucht langs onder toegevoegd aan de brandstof waarbij de ontstane rookgassen naar boven de verbrandingszone worden afgevoerd voor secundaire verbranding boven de eerste verbrandingszone. Het principe is weergegeven in Figuur 15.



Figuur 15: Principe van opwaartse trek (European Commission DG TREN, 2009)

- Kachels met neerwaartse trek: hier wordt de primaire lucht langs de bovenkant van de verbrandingskamer toegevoegd en secundaire lucht aan de onderkant van de verbrandingszone. Het principe is weergegeven in Figuur 16. Bij deze systemen is er geen vlammenbeeld.



Figuur 16: Principe van neerwaartse trek (Ademe, 2018)

- Kachels met zijdelingse trek: hier gebeurt de secundaire verbranding langs de zijkant, de rookgassen worden naar opzij gebracht voor de secundaire verbranding.

Tussenvariaties zijn eveneens mogelijk. De luchttoevoer kan manueel of automatisch geregeld worden.

Bij oudere kachels zijn er weinig of geen regelmogelijkheden voor het optimaliseren van het verbrandingsproces. Ook is er geen scheiding van de primaire en secundaire verbrandingslucht. Moderne kachels beschikken over een aparte/tweede verbrandingskamer en bevatten heel wat bijkomende technische maatregelen om het verbrandingsproces te optimaliseren. De nieuwste modellen 'geavanceerde kachels' beschikken ook over de mogelijkheid om het merendeel van deze maatregelen automatisch aan te sturen al dan niet in combinatie met metingen. Meer informatie over deze maatregelen is opgenomen in paragraaf 4.1.

Verder wordt er een onderscheid gemaakt tussen continue en niet-continue verbranding. Het verschil is gebaseerd op het interval dat nodig is om bij te vullen en de mogelijkheid om van slaapstand terug vuur te krijgen. Continue systemen moeten na 10 à 12 uur trage verbranding terug opstarten zonder vonk. Dit is mogelijk door te verbranden met een zeer beperkte luchttoevoer, waardoor het vuur lange tijd smeult. Dit leidt echter tot zeer hoge emissies, gezien de grote negatieve impact op de verbrandingsparameters temperatuur en turbulentie. Continue systemen vinden hun oorsprong in Duitsland, oa de tegelkachels, maar worden in Vlaanderen relatief weinig gebruikt.

Pelletgestookte kachels zijn geschikt voor continu gebruik, ze zijn thermostatisch geregeld en kunnen geprogrammeerd worden. Pelletkachels zijn automatische systemen die geen tussenkomst van de gebruiker vereisen. De opstart van een pelletkachel bestaat uit de aanvoer van pellets uit de voorraadbuffer in de brandkorf waar de pellets automatisch ontbranden met behulp van een

gloeikaars en aanvoer van verse lucht. Vervolgens wordt afhankelijk van het gevraagde vermogen de hoeveelheid pellets en de luchttoevoer automatisch geregeld. Er wordt bij deze automatisatie een onderscheid gemaakt tussen pellettoestellen waarbij de pellets op een constante snelheid aangevoerd worden en toestellen waarbij de snelheid van toevoer op basis van het vuurbeeld (metingen) is. Afhankelijk van het type automatisering kan hier een juiste verhouding van lucht en brandstof verkregen worden in de verbrandingskamer, wat bijdraagt aan een hoge verbrandingsefficiëntie en lage emissies. Pellets beschikken bovendien over een lage vochtigheid en geringe asvorming wat eveneens bijdraagt aan een beter verbrandingsproces. De toevoer van de pellets gebeurt langs boven. De warmte wordt hoofdzakelijk afgegeven door convectie, dit in tegenstelling tot de meeste houtkachels waarbij de warmte voornamelijk wordt afgegeven door stralingswarmte. De warmte bij pelletkachels wordt via een warmtewisselaar afgegeven aan de omgevingslucht, die eventueel met een ventilator (convectie) de woonkamer wordt in geblazen. De rook wordt naar buiten geblazen met behulp van een rookgasventilator. Pelletkachels hebben een rendement van minstens 85% volgens Ademe (Ademe, 2018) .

Sommige kachels en haarden combineren directe en indirecte warmteafgifte. Indien gebruik gemaakt wordt van water als tussenmedium om andere ruimtes mee op te warmen, spreekt men van ketel- of cv-kachels/haarden. Kachels die zijn voorzien van kanalen om warme lucht te verspreiden over verschillende ruimtes, worden kachels met kanalisatie genoemd. In de regelgeving worden al deze systemen steeds beschouwd als toestellen voor lokale ruimteverwarming.

3.3.5. ACCUMULATIEKACHEL

Accumulatiekachels zijn meestal opgebouwd uit keramische materialen als speksteen, tegels en/of klei, die de warmte opslaan en nadien geleidelijk afgeven aan de omgeving onder de vorm van stralingswarmte. De rookgassen leggen bovendien een veel langere weg af dan in gewone houtkachels, waardoor de opname van restwarmte uit de rookgassen veel beter is. Dit draagt vervolgens bij tot het minder voorkomen van smoren van de verbranding ten opzichte van gewone kachels waarbij veel warmte snel verdwijnt doorheen het rookgaskanaal. Mogelijk nadeel is dat er meer horizontale kanalen zijn waardoor er bij slecht gebruik (bv. nat hout als brandstof) meer afzetting is van roet wat de werking en het rendement kan doen afnemen. Echter bij een goed gebruik is de roetafzetting bij een accumulatiekachel lager dan bij een gewone houtkachel door de hogere verbrandingstemperaturen en goede verbranding in het algemeen. Het onderhoud is bijgevolg sterk afhankelijk van een correct gebruik en goed stookgedrag. Ook zal een accumulatiekachel vaak nog warm zijn van de vorige dag wanneer ze opnieuw aangemaakt wordt, waardoor de aanmaaktemperatuur al snel 100°C hoger ligt, wat de emissies bij aanmaak sterk verlaagt.

Gezien er hoofdzakelijk warmte door middel van straling wordt afgegeven, wordt dit meestal als erg aangenaam ervaren. Omdat met stralingswarmte eenzelfde comfort kan ervaren worden bij lagere luchttemperaturen, zal er minder warmte verloren gaan door ventilatie (op voorwaarde dat de hele ruimte kan worden aangestraald).

Bij goed gebruik wordt het hout verbrand op een hoge temperatuur waardoor het hout 'schoner' verbrandt dan bij gewone kachels. . Samen met het feit dat er omwille van de materiaalkeuze ook weinig warmteverlies is, kunnen hierbij hoge rendementen gehaald worden van 80 tot 90% volgens Ademe (Ademe, 2018) .

Het nadeel van accumulatiekachels is dat deze over het algemeen vrij groot en zwaar zijn en heel wat duurder dan een gewone houtkachel.

Veel van de maatregelen toegepast bij hout en/of pelletkachels voor het optimaliseren van de verbranding kunnen hier ook worden toegepast.

3.3.6. KETEL

Bij een ketel wordt de warmte overgedragen aan een tussenmedium, bijvoorbeeld water of lucht. Het warme water of de warme lucht wordt vervolgens gebruikt om andere ruimten op te warmen via radiatoren of vloerverwarming, en eventueel bijkomend als sanitair warm water. Op basis van de brandstof kan er in het kader van deze studie een onderscheid gemaakt worden tussen ketels op hout, pellets, en houtsnippers. Het gebruik van houtsnippers voor huishoudelijke toepassingen is echter zeer beperkt.

Bij een ketel kan de wisselende vraag naar warmte bovendien opgevangen worden door een warmtebuffer te plaatsen tussen de verbrandingsinstallatie en het afgiftecircuit. De warmtebuffer heeft soms ook de functie om de ketel op een minimale temperatuur te houden.

Bij houtgestookte ketels wordt een onderscheid gemaakt tussen manueel en automatisch te vullen installaties. Automatische vulling laat een betere controle van het verbrandingsproces toe aangezien zowel de brandstof- als de luchttoevoer gecontroleerd kunnen gebeuren. Dit resulteert vervolgens in hoge rendementen (tot 90% (Ademe, 2018)) en lagere emissies. Houtgestookte ketels zijn beschikbaar vanaf 10 kW (European Commission DG TREN, 2009).

Pelletgestookte ketels worden steeds automatisch gevuld en aangestuurd. Kleinere installaties beschikken hiervoor over een ingebouwde opslagruimte voor brandstof die om de 1 à 2 dagen manueel bijgevuld wordt. Grotere installaties worden aangesloten op een voorraad silo met transfersysteem voor de brandstof (zie Figuur 17). De opslagcapaciteit van een silo zoals in Figuur 17 varieert van 450 kg tot 12 ton, in metaal zijn grotere volumes mogelijk. Door de volledige automatisering met computergestuurde regeling van de concentraties O_2 en CO wordt een optimale verbrandingskwaliteit bereikt en een hoog rendement (85% tot 95% (Ademe, 2018)). Stoffilters kunnen geïntegreerd zijn of als aparte optie aangeboden worden. Toepassing van het principe van een condensatieketel verhoogt het rendement van deze pelletgestookte ketels tot 105% (Ademe, 2018).



Figuur 17: Pelletketel met opslag in silo

Ketels op basis van houtsnippers hebben over het algemeen een hogere capaciteit (doorgaans hoger dan voor huishoudelijke toepassingen) en hogere investeringskost ten opzichte van pelletketels. Pellets hebben ten opzichte van houtsnippers voordelen op vlak van logistiek met betrekking tot handelbaarheid, opslag en toevoer en op vlak van brandstofkwaliteit. Houtsnippers zijn meestal niet gelijkmatig gevormd en hebben vaak een fluctuerend vochtgehalte wat een negatieve impact heeft op de emissies. Daarbij hebben houtsnippers relatief hoge stofemissies indien er geen gebruik gemaakt wordt van filters. Bij een vermogen vanaf 100 of 200 kW en voldoende vollasturen kan het economisch interessanter zijn om te kiezen voor houtsnippers in plaats van pellets. De hogere investeringskost voor de ketelinstallatie en brandstoftoevoer wordt gecompenseerd door een lagere brandstofprijs. Naarmate de ketel groter wordt, is de kwaliteit van de houtsnippers ook minder belangrijk.

3.4. MILIEU-ASPECTEN

Een algemene bespreking van het houtverbrandingsproces, de emissievorming en de factoren die hierop van invloed zijn, werd gegeven in paragraaf 3.1. In onderstaande paragrafen volgt meer kwantitatieve informatie over emissieniveaus, energie-efficiënties, emissiefactoren, en de globale milieu-impact van huishoudelijke houtverwarming. Vooreerst echter staan we stil bij de manier waarop emissies en energie-efficiëntie gemeten en gerapporteerd wordt.

3.4.1. METEN EN RAPPORTEREN VAN EMISSIES EN ENERGIE-EFFICIËNTIE

Bij het interpreteren van cijfers over emissies en energie-efficiëntie van huishoudelijke houtverbranding, moet rekening gehouden worden met een aantal factoren die de resultaten van metingen beïnvloeden, in het bijzonder met de gebruikte testcondities en monsternamen- en meetmethoden. Ook de eenheden en de referentiecondities waarbij de emissies worden uitgedrukt verdienen aandacht.

→ Gebruikte testcondities

De verbrandingscondities in het toestel op het moment van de meting beïnvloeden in zeer belangrijke mate de emissies en de energie-efficiëntie. Hierbij kan gedacht worden aan de kwaliteit/vochtgehalte van de gestookte houtbrandstof, de fase van het verbrandingsproces, het werken bij nominaal vermogen versus bij deellast enzoverder. De invloed van deze factoren op de emissies en de energie-efficiëntie wordt besproken in paragraaf 3.1.4.

Om emissies en energie-efficiëntie van toestellen voor huishoudelijke houtverwarming te bepalen, worden verschillende testprotocollen gebruikt:

- Metingen in labo's volgens genormeerde testprocedures
- Metingen in labo's met aangepaste testprotocollen, bv. om praktijksituaties te simuleren
- Metingen ter plekke in reële praktijkomstandigheden

Metingen in labo's volgens Europese of nationale genormeerde testprocedures worden uitgevoerd om conformiteit met normen of labels aan te tonen (zie paragraaf HOOFDSTUK 1). Emissies worden gemeten bij nominale warmteafgifte, en indien passend, bij deellast. **Staalnames tijdens de opstartperiode, wanneer emissies vaak hoger zijn, zijn niet voorzien.** Ook wordt tijdens de test gewerkt met een voorgeschreven kwaliteit van brandstof en met een toestel dat correct geplaatst en ingesteld is (bv. vast ingestelde onderdruk, voorverwarmd toestel, aanwezigheid van een optimaal gloeiend koolbed en op het thermisch vermogen afgestemde hoeveelheid en afmeting van de brandstof). Bij het ontwerp van nieuwe toestellen, richten fabrikanten zich op de te respecteren normen, waardoor toestellen als het ware ontworpen worden om goed te presteren onder de testcondities in de normen.

Omdat omstandigheden in de praktijk sterk kunnen afwijken van de omstandigheden in de protocollen uit Europese of nationale normen, wordt voor onderzoek naar de reële emissies van huishoudelijke houtverbranding gebruik gemaakt van andere testprotocollen. Het kan zowel gaan om metingen in labo's onder gesimuleerde praktijkomstandigheden waarbij bv. de volledige cyclus wordt gesimuleerd, en ook bij deellast wordt gemeten, als om werkelijke 'veldmetingen' bij toestellen die bij huishoudens geïnstalleerd en gebruikt worden. Dergelijke metingen zijn niet bedoeld of geschikt om conformiteit met Europese normen of labels te controleren. Wel zijn de resultaten van deze metingen in vergelijking met metingen volgens de Europese of nationale normen beter geschikt voor het opstellen van emissiefactoren, om de totale en reële uitstoot door huishoudelijke houtverbranding in te schatten. Maar ook zij vormen wellicht nog een onderschatting van de werkelijke emissies door huishoudelijke houtverwarming, omdat ze geen rekening houden met foutief stookgedrag, wat in de praktijk steeds zal voorkomen.

→ Meetmethodes voor stof

Voor stof vormt de meetmethode een bijzonder aandachtspunt. Zoals beschreven in 3.1.2 bestaan deeltjesemissies van huishoudelijke houtverbranding deels uit COC (condenseerbare organische stoffen). Deze worden gevormd bij afkoeling van de rookgassen in het rookgaskanaal, waardoor de aanwezige condenseerbare organische stoffen condenseren. In de testprotocollen gebeurt de staalname traditioneel in de hete rookgassen en de stofbepaling door middel van een verwarmd filter (= methode met 'verwarmd filter'). De fractie COC worden in dit geval niet of slechts beperkt meebepaald. Er zijn alternatieve methoden ontwikkeld, waarbij de stofbepaling gebeurt na afkoeling, met de bedoeling de COC wel mee te bepalen (methodes met 'met gebruikmaking van natuurlijke trek, volledige stroomverduunningstunnel en filter bij omgevingstemperatuur' of 'met gebruikmaking van een vaste trek van 12 Pa, volledige stroomverduunningstunnel en filter bij

omgevingstemperatuur of elektrostatische stofvanger'. Ook bij deze methoden zal de temperatuur bij de meting nog hoger zijn dan een typische buitentemperatuur in de winter, waardoor er waarschijnlijk nog een deel COC niet meegemeten worden. In de Ecodesign normen voor kachels (EU/2015/1185) wordt voor de meting van fijn stof (PM) bij kachels de keuze gelaten tussen 3 methodes. Afhankelijk van de gekozen methode zijn wel andere normen van toepassing (zie Tabel 7). In de Ecodesign normen voor ketels (EU/2015/1189) wordt voorgeschreven dat alle zwevende deeltjes die door gasvormige organische verbindingen worden gevormd wanneer rookgassen in aanraking komen met omgevingslucht, uitgesloten moeten worden bij de stofmeting.

In (Schön & Hartmann, 2018) werd onderzocht welke invloed diverse variaties in meetmethodes hebben op de gemeten stofwaarden. Er werd vastgesteld dat bij hoge COC concentraties (typisch gelinkt aan slechte verbrandingscondities) de gemeten stofwaarden stijgen naarmate de filtratietemperatuur lager is, en dat een niet homogene en niet constante filtratietemperatuur, samen met een aantal andere factoren, een grote onzekerheid creëert op de meetwaarden bij de meetmethode met verwarmd filter, vooral bij hoge COC concentraties. Het gebruik van een stroomverduunningstunnel introduceert dan weer een groot aantal andere onzekerheden, waardoor het gebruik van deze methode volgens (Schön & Hartmann, 2018) af te raden is voor typekeuring van toestellen, maar wel zinvol kan zijn voor wetenschappelijke studies waarin gekeken wordt naar afmetingen en distributie van deeltjes en voor bepaling van emissiefactoren. Verder onderzoek voor harmonisering en standaardisering van de meetmethoden voor stof is lopende. Zo werd in het kader van het Europees EN-PME-TEST onderzoeksproject (Fraboulet, 2016) een methode ontwikkeld die ter validatie wordt geëvalueerd door CEN TC295 'Residential solid fuel burning appliances'.

→ Eenheden

Emissies van huishoudelijke houtverbranding worden uitgedrukt in verschillende eenheden, waarbij ofwel de hoeveelheid / energieinhoud het gebruikte hout ofwel het rookgasvolume als referentie gebruikt wordt. Enkele voorbeelden van gebruikte eenheden zijn:

- eenheden gerelateerd aan rookgasvolume:
 - mg/Nm^3
 - ppm
 - vol%
- eenheden gerelateerd aan energie-input:
 - g/kg droog hout
 - g/GJ
- eenheden gerelateerd aan de geproduceerde warmte:
 - g/GJ

Eenheden gerelateerd aan rookgasvolume worden gebruikt in normen en labels voor het stellen van emissie-eisen waaraan toestellen moeten voldoen. Eenheden gerelateerd aan energie-input worden vooral gebruikt voor het opstellen van emissiefactoren voor emissie-inventarissen, om de bijdrage van huishoudelijke houtverwarming aan emissies in te schatten.

In het Europese richtlijnenboek voor de opmaak van nationale emissieinventarissen worden rekenregels uitgewerkt voor het omrekenen tussen beide vormen van meetwaarden (European Environment Agency, 2019). Hierbij wordt voor hout uitgegaan een stoichiometrisch rookgasvolume van $253 \text{ m}^3/\text{GJ}$ energie-input, en een energie-inhoud van $17,3 \text{ GJ/t}$ (voor droog hout). Bovendien moet een correctie gebeuren voor het referentiezuurstofgehalte waarbij de emissieconcentratie is uitgedrukt. Voor de omrekening van een emissiewaarde (E) uitgedrukt in mg/Nm^3 naar een emissiefactor (EF) in g/GJ is de formule:

$$EF \text{ (g/GJ)} = E \text{ (mg/Nm}^3\text{)} \times 253/1000 \times (20,9/(20,9\text{-}\%O_2\text{Ref}))$$

Bij een referentiezuurstofgehalte van 13% (kachels) geldt:

$$EF \text{ (g/GJ)} = E \text{ (mg/Nm}^3\text{)} \times 0,66933$$

Bij een referentiezuurstofgehalte van 10% (ketels) geldt:

$$EF \text{ (g/GJ)} = E \text{ (mg/Nm}^3\text{)} \times 0,48511$$

→ Referentiecondities

Wanneer cijfers voor emissies of het energetisch rendement gegeven worden, zou in principe steeds duidelijk moeten zijn wat de bijhorende referentiecondities zijn.

Naast de gebruikte testprotocollen en meetmethoden (zie hoger), zijn ondermeer het regime (nominale belasting of deellast), en het referentiezuurstofgehalte, -vochtgehalte, druk en temperatuur van belang.

Wanneer het regime niet gespecificeerd wordt, gaat het doorgaans (bij testen volgens Europese of nationale normen) om cijfers bij nominale warmteafgifte. Als cijfers bij deellast gerapporteerd worden, wordt dit meestal uitdrukkelijk vermeld. Er wordt ook gewerkt met seizoensgebonden emissies of energie-efficiënties, dit zijn gewogen gemiddelden van meetwaarden bij nominale warmteafgifte en bij deellast.

Wanneer emissies van verbrandingsprossen worden uitgedrukt in relatie tot het rookgasvolume (bv. in mg/Nm³), dan gebeurt dat bij een referentiezuurstofgehalte, zodat gecorrigeerd wordt voor de verdunningseffecten door luchtvermaat. Voor kachels wordt in de Europese normen een referentiezuurstofgehalte van 13% gehanteerd, voor ketels 10%. Verder worden emissies omgerekend naar standaardcondities van vochtgehalte (droog gas), druk (1013 mbar) en temperatuur (273K). De meeste emissiecijfers gerelateerd aan rookgasvolume zijn bij deze referentieomstandigheden uitgedrukt.

Ook wanneer emissies worden uitgedrukt in relatie tot energie-input (bv. in mg/MJ of mg/kg) is het van belang dat duidelijk gespecificeerd is waarnaar precies gerefereerd wordt (bv. kg droge stof versus kg houtbrandstof).

3.4.2. MILIEUPRESTATIES VAN NIEUWE TOESTELLEN VOLGENS GENORMEERDE TESTPROCEDURES

Om conformiteit met normen of labels aan te tonen, worden nieuwe toestellen die op de markt worden aangeboden getest volgens genormeerde testprocedures (zie paragraaf HOOFDSTUK 1). De testresultaten worden vermeld op de verklaring van overeenstemming die bij het toestel hoort.

Op de website van de FOD Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en Leefmilieu is de lijst terug te vinden met verwarmingstoestellen met verklaring van overeenstemming met het KB verwarmingsapparten (KB van 12 oktober 2010 – zie paragraaf 2.3.2) via deze link: <https://www.health.belgium.be/nl/e-services/lijt-van-verwarmingstoestellen>. Voor elk van de

toestellen kan op de website de verklaring van overeenstemming gedownload worden, met daarop de gegevens uit de typetest (efficiëntie, CO en PM emissies).

In april 2019 stonden in totaal 4756 toestellen op hernieuwbare vaste brandstoffen op de lijst, waarvan:

- 25 open haardtoestellen (NBN EN 13229B)
- 76 accumulerende toestellen (NBN EN 15250)
- 67 ketel-kachels < 50 kW (NBN EN 12809)
- 500 ketels < 400 kW (NBN EN 303-5)
- 945 inzetkachels (NBN EN 13229)
- 1677 voorzetkachels (NBN EN 13240)
- 1466 pellettoestellen (NBN EN 14785)

1627 van de 4756 toestellen zijn van Belgische makelij.

In het kader van de BBT studie werd een bevraging gelanceerd bij de fabrikanten en importeurs om een beter beeld te krijgen van de gebruikte technologieën met betrekking tot een betere verbranding en reductie van de emissies en de milieuperformantie van deze technieken. Voor de toestellen waarvoor de bevraging ingevuld is, zijn de milieuprestaties samengevat in paragraaf 4.8.

3.4.3. EMISSIES IN REËLE OMSTANDIGHEDEN VERSUS EMISSIES VOLGENS GENORMEERDE TESTPROCEDURES

De beschikbare informatie over emissies onder reële omstandigheden is relatief beperkt. Onderstaande bespreking is gebaseerd op 4 onderzoeken die afgelopen jaren gevoerd werden over emissies van huishoudelijke houtverwarming in reële omstandigheden, en vergelijking ervan met emissies gemeten in labo-omstandigheden volgens genormeerde testprocedures:

- een uitgebreide studie van de wetenschappelijke literatuur over de emissies van moderne houtverwarmingstoetsellen onder reële omstandigheden (Tytgat, Walpot, Cools, & Lenaerts, 2017)
- het Europese onderzoeksproject BeReal waarbij een meetprotocol werd ontwikkeld en metingen werden uitgevoerd op diverse types toestellen, zowel in labo's onder genormeerde testcondities als in labo's onder gesimuleerde praktijkcondities en bij toestellen die in huishoudens geïnstalleerd en gebruikt werden (Reichert, et al., Final Report: Definition of suitable measurement methods and advanced type testing procedure for real life conditions, 2016)
- een onderzoek door het Franse INERIS in opdracht van ADEME, waarbij een aantal recente toestellen gemeten werden door middel van een testopstelling met simulering van praktijkcondities (Ademe - Ineris, 2016)
- een studie voor de Nordic Council of Ministers waarbij metingen werden uitgevoerd op oude en nieuwe toestellen onder diverse omstandigheden, met het oog op de bepaling van emissiefactoren (Kindbom, et al., 2017)

→ Literatuurstudie (Tytgat, Walpot, Cools, & Lenaerts, 2017)

Tabel 17 geeft een overzicht van de emissiegegevens in mg/MJ die in de literatuurstudie (VMM-UA, 2017) gevonden werden voor diverse types toestellen voor huishoudelijke houtverwarming. Het betreft hier een combinatie van gegevens bekomen door labotests met gebruik van genormeerde testprocedures (LAB), gegevens bekomen door metingen in labo's onder gesimuleerde praktijkcondities (PSEUDO), en gegevens van metingen in de praktijk bij mensen thuis (REAL).

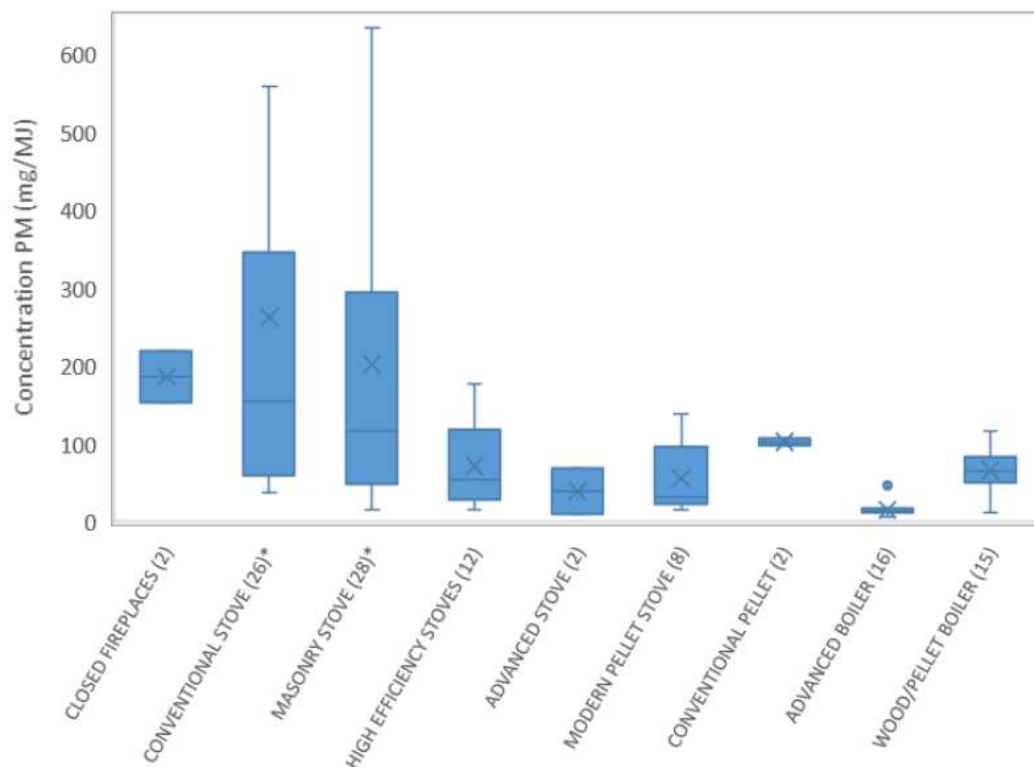
Tabel 17: Overzicht van emissiecijfers uit diverse literatuurbronnen voor verschillende types toestellen (op basis van (Tytgat, Walpot, Cools, & Lenaerts, 2017))

Type toestel	Aantal studies	Soort test	PM (mg/MJ)	CO (mg/MJ)	OGC (mg/MJ)	PAK (mg/MJ)	NOx (mg/MJ)
Gesloten haard	1	alle	152-219	3949-5030	/	0,014	105-104
	0	LAB	/	/	/	/	/
	1	PSEUDO	152-219	3949-5030	/	0,014	105-104
	0	REAL	/	/	/	/	/
Traditionele houtkachel	10	alle	38-955	110-7200	4561-8786	0,0325-220	35-66
	7	LAB	38-955	1100-7200	/	0,0325-220	35-66
	2	PSEUDO	55,5-225	2086-2355	4561-8786	0,122-0,008786	/
	1	REAL	48-189	/	/	/	/
Tegelkachel	6	alle	16-833	703-10611	24-2500	0,081-14,10	72-83
	2	LAB	16-833	703-10611	24-2500	/	72-83
	1	PSEUDO	28-31,3	1008-1207	52,4-69,2	0,081-0,099	/
	3	REAL	89-633	/	/	1,44-14,10	/
Hoog efficiënte kachel	5	alle	15-176	100-7829	94,2-95,5	0,0003-340	99-182
	2	LAB	15-114	100-770	/	1,65-340	/
	2	PSEUDO	46,1-176	1036-7829	94,2-95,5	0,152-0,466	99-182
	1	REAL	67-122	/	/	0,0003-0,0006	/
Geavanceerde kachel	1	alle	9,7-68,05	731-824	18,2-26,3	/	/
	1	LAB	9,7-68,05	731-824	18,2-26,3	/	/
	0	PSEUDO	/	/	/	/	/
	0	REAL	/	/	/	/	/
Moderne pelletkachel	6	alle	16-139	73-413	10	0,000077-0,5	32-165
	4	LAB	16-102	413	10	0,000077-0,5	165
	2	PSEUDO	31-139	73-192	/	0,0015	32-90
	0	REAL	/	/	/	/	/
	1	alle	98,6-106,1	8969-12632	651-1144	3,39-18,85	/

Traditionele ketel	0	LAB	/	/	/	/	/
	1	PSEUDO	98,6-106,1	8969-12632	651-1144	3,39-18,85	/
	0	REAL	/	/	/	/	/
Geavanceerde ketel	3	alle	6,0-45,8	7-793,1	0,76-78,7	0,00012-0,105	50,2-168
	2	LAB	6,0-17,6	7-455	0,76-4,66	0,00012	50,2-168
	1	PSEUDO	9,7-45,8	45,4-793,1	1,7-78,7	0,006-0,105	/
	0	REAL	/	/	/	/	/
Hout/pellet ketel	4	alle	11-116	12-547	1-2	0,00003-0,00015	59-127
	2	LAB	11-65	12-485	1-2	0,00003-0,00015	59-127
	2	PSEUDO	30-116	197-547	/	0,00006	61-95
	0	REAL	/	/	/	/	/

Enkele conclusies die getrokken werden uit de analyse (VMM-UA, 2017):

- De emissiewaarden die gerapporteerd worden (zie Tabel 17) vertonen in het algemeen een zeer grote variabiliteit. Verschillen in type en leeftijd van de geteste toestellen en in gebruikte testprocedures en -omstandigheden spelen hierin een belangrijke rol. De interpretatie van de gegevens wordt bemoeilijkt doordat niet in alle studies alle parameters/toesteltypes beschreven en onderzocht werden. Onderlinge vergelijking van de cijfers moet daarom met de nodige omzichtigheid gebeuren en de beschikbare gegevens laten niet toe de invloed van alle relevante variabelen (bv. gebruikte houtsoorten) op de emissies te bepalen.
- De PM uitstoot van meer recente kachels, met de nieuwste technologie, is doorgaans lager dan deze van oudere kachels (zie Figuur 18). Hierbij wordt opgemerkt dat de meeste emissies gemeten werden in labo's, hetzij volgens genormeerde meetprocedures (LAB), hetzij onder gesimuleerde praktijkcondities (PSEUDO). Met name voor de laatste, nieuwste types toestellen zijn weinig of geen gegevens over de prestaties in reële omstandigheden (REAL) beschikbaar (zie Tabel 17).
- Hoog efficiënte kachels presteren in vergelijking met traditionele kachels beter voor PM en CO emissies, maar emissies van NO_x en PAKs lijken soms hoger. Voor geavanceerde kachels zijn minder data beschikbaar, maar de emissies zijn in het algemeen nog lager dan deze van hoog efficiënte kachels.
- De emissies voor de verschillende parameters zijn beduidend hoger bij testen met gesmoorde luchttoevoer. Dit werd vastgesteld voor traditionele kachels (factor 2), tegelkachels en hoog efficiënte kachels en moderne pelletkachels.



*Figuur 18: Boxplot overzicht van PM-emissiecijfers (aantallen tussen haakjes) uit diverse literatuurbronnen voor verschillende types toestellen, categorieën aangeduid met * bevatten outliers boven de 1000 mg/MJ (Tytgat, Walpot, Cools, & Lenaerts, 2017)*

→ Europees onderzoeksproject BeReal⁴

In het BeReal project werden meetprotocols (BeReal testprocedure) ontwikkeld om in labo's emissiemetingen uit te voeren onder gesimuleerde praktijkcondities. De bedoeling was om de reële praktijkomstandigheden zo goed mogelijk te benaderen (met uitsluiting van echt foutief gebruik). In het project werden ook metingen uitgevoerd in reële omstandigheden. Hiervoor werden 13 houtkachels en 4 pelletkachels bij reële gebruikers geïnstalleerd. Het ging om toestellen geproduceerd in de jaren 2013-2015, al dan niet met automatische luchtcontrole. Nadat het toestel minstens een maand in gebruik was, werden er gedurende 3 opeenvolgende dagen metingen uitgevoerd. De 1^{ste} dag werd de gebruiker gevraagd het toestel te gebruiken zoals hij gewend was, de 2^{de} dag werd hem gevraagd een aantal schriftelijke richtlijnen te volgen (voor houtkachels) of een standaard pellet kwaliteit te gebruiken (voor pelletkachels), de 3^{de} dag kreeg hij persoonlijk advies van een projectmedewerker om zoveel mogelijk de condities van de BeReal testprocedure te volgen. De resultaten van de reële metingen werden vervolgens vergeleken met resultaten bekomen voor dezelfde toestellen bij metingen in het labo, zowel bij gebruik van de standaard genormeerde testprocedures, als bij gebruik van de in het project ontwikkelde procedure (BeReal procedure). De gemiddelde meetresultaten worden gegeven in *Tabel 18* voor houtkachels en in *Tabel 19* voor pelletkachels. Hierbij wordt opgemerkt dat de variabiliteit op de meetgegevens vrij hoog was. Voor de meting van PM wordt in de BeReal methode gebruik gemaakt van een methode met verwarmd filter (= *exclusief* condensables).

⁴ (Reichert, et al., Deliverable D3.3 Final Report: Definition of Suitable Measurement Methods and Advanced Type Testing Procedure for Real Life Conditions, 2016)
(Rönnback, Henrik, Jespersen, & Jensen, 2016)
(Jespersen, Jensen, Rönnbäck, Persson, & Wöhler, 2016)

Tabel 18: Gemiddelde meetwaarden voor 13 houtkachels volgens het BeReal project

	Volgens genormeerde testprocedure, zoals vermeld op de officiële documenten bij het toestel	Volgens genormeerde testomstandigheden, resultaten door projectpartners	Volgens BeReal methode (in het labo gesimuleerde praktijkcondities)	Praktijkmetingen bij reële gebruikers – Dag 1	Praktijkmetingen bij reële gebruikers – Dag 2	Praktijkmetingen bij reële gebruikers – Dag 3
CO (mg/Nm ³ @13%O ₂)	848	1877	2891	3443	3211	3099
PM (mg/Nm ³ @13%O ₂)	21	58	74	76	74	84
OGC (mg/Nm ³ @13%O ₂)	58	130	245	310	279	297
Efficiëntie (%)	81	70	70	65	65	65

Tabel 19: Gemiddelde meetwaarden voor 4 pelletkachels volgens het BeReal project

	Volgens genormeerde testprocedure, zoals vermeld op de officiële documenten bij het toestel	Volgens genormeerde testomstandigheden, resultaten door projectpartners	Volgens BeReal methode (in het labo gesimuleerde praktijkcondities)	Praktijkmetingen bij reële gebruikers – Dag 1	Praktijkmetingen bij reële gebruikers – Dag 2	Praktijkmetingen bij reële gebruikers – Dag 3
CO (mg/Nm ³ @13%O ₂)	107	166	428	455	269	394
PM (mg/Nm ³ @13%O ₂)	19	40	56	72	48	49

OGC (mg/Nm ³ @13%O ₂)	3	3	9	31	5	8
Efficiëntie (%)	91	87	88	85	86	86

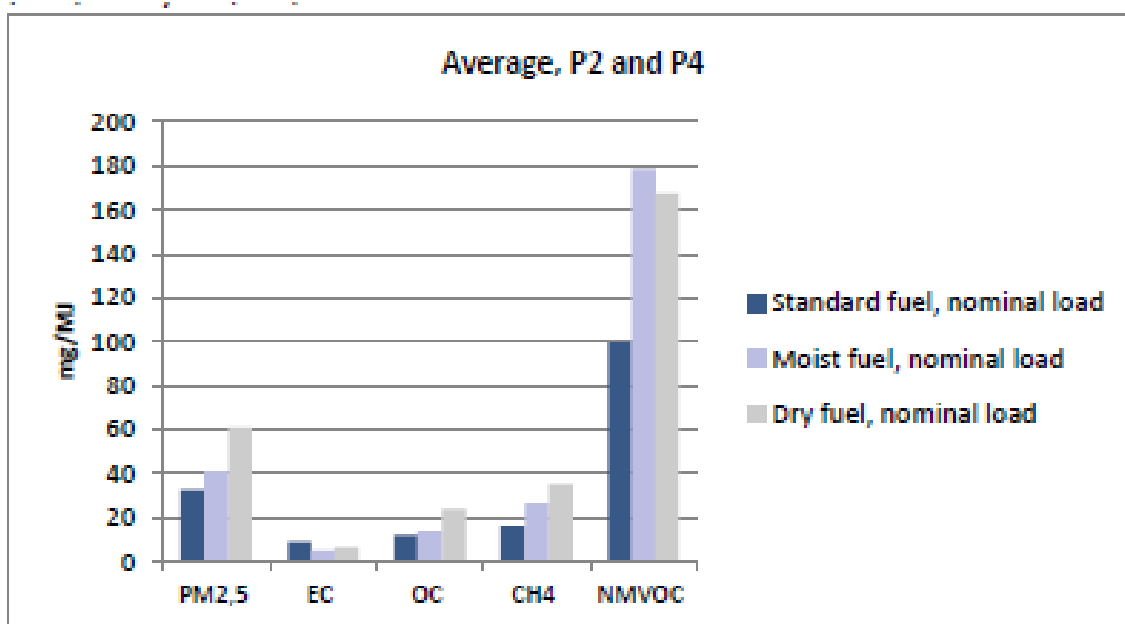
Uit de metingen werden volgende conclusies getrokken:

- De emissies volgens de genormeerde testmethodes zijn aanzienlijk lager (typisch factor 3) dan de emissies volgens de BeReal procedure (gesimuleerde praktijkcondities), en dit voor alle bestudeerde parameters (CO, OGC als PM). De emissies volgens de BeRealprocedure en de emissies gemeten bij reële gebruikers lagen globaal in dezelfde grootte orde.
- De emissies volgens de genormeerde testmethodes zoals vermeld op de officiële documenten bij het toestel, waren lager dan de emissies gemeten door de projectpartners onder de genormeerde testcondities. Hiervoor werd in het rapport geen verklaring teruggevonden. De door de projectpartners gebruikte methode week wel af van de standaardmethode doordat de staalname voor de analyse verder weg van de kachel gebeurde (= in reeds deels afgekoelde rookgassen).
- De energetische efficiëntie bepaald volgens de genormeerde testmethodes was hoger dan deze bepaald volgens de BeRealprocedure (gesimuleerde praktijkcondities) en bij reële gebruikers.
- Wanneer de resultaten bij reële gebruikers op dag 1 en dag 2 vergeleken worden, wordt een lichte verbetering vastgesteld op dag 2 ten opzichte van dag 1, hetgeen voor de houtkachels toegewezen wordt aan het verbeterde gebruikersgedrag (toepassing van de richtlijnen) en voor de pelletkachels aan de kwaliteit van de brandstof. De resultaten op dag 3 wijken het minst af van de resultaten met gebruik van de BeReal procedure.

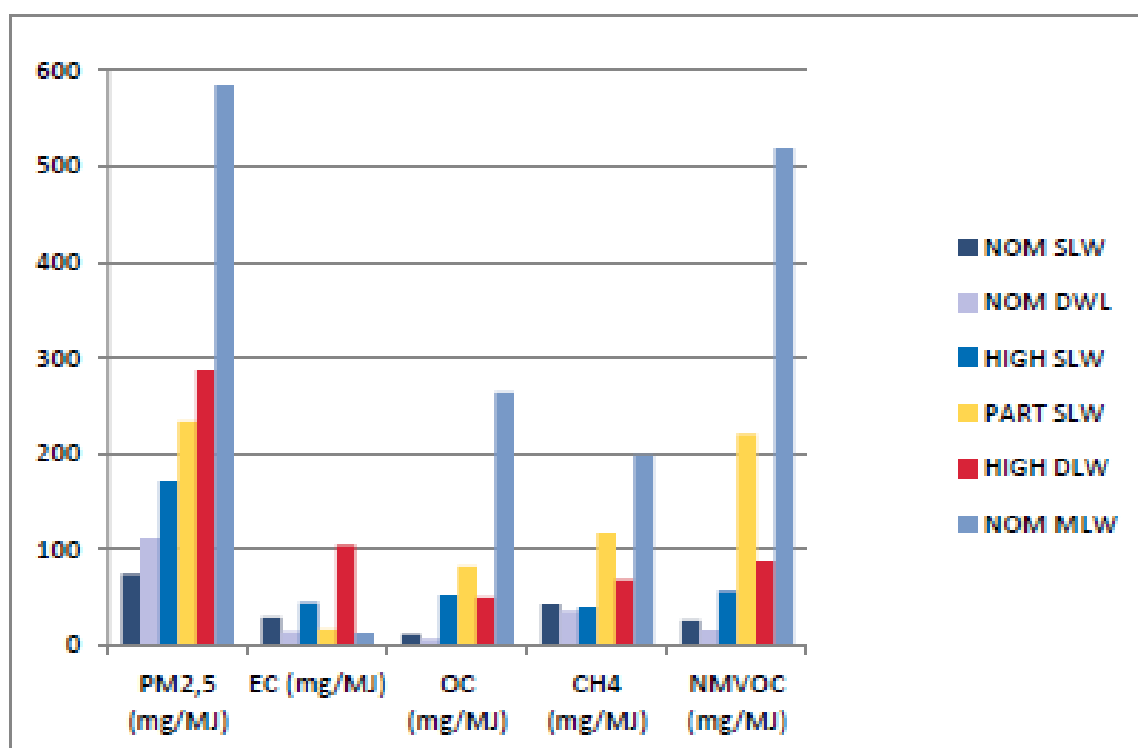
→ Studie in opdracht van de Nordic Council of Ministers (Kindbom, et al., 2017)

Met het oog op het verbeteren van emissiefactoren gebruikt in emissie-inventarissen, werden in deze studie metingen uitgevoerd op verschillende kachels en ketels, enerzijds volgens Europese en Noorse genormeerde testmethodes, en anderzijds in aangepaste testen, waarbij oa gewerkt werd met vochtiger hout en bij deellast, om de invloed van gebruikersgedrag op de emissies in te schatten. Op basis van het onderzoek werden volgende conclusies getrokken (zie ook *Figuur 19* en *Figuur 20*):

- Emissies van traditionele ketels op stukhout zijn een factor 5 tot 10 hoger (afhankelijk van de parameter) dan deze van moderne ketels, ketels op pellets of ketels of houtsnippers. Voor deze laatste 3 categorieën zijn de emissieniveaus vergelijkbaar.
- Het stoken bij deellast ipv vollast leidt bij ketels tot een verhoging van de emissieniveaus met een factor 2-6 (soms hoger), afhankelijk van de parameter en de technologie.
- Het gebruik van vochtige brandstoffen verhoogt de emissies van stookketels met een factor 1,5-2.
- Voor kachels waren de verschillen tussen verschillende technologieën minder uitgesproken dan voor ketels. De hoogste emissieniveaus werden gemeten bij tegelkachels, gevolgd door oudere kacheltypes (1,5-2 keer hoger dan bij moderne houtkachels). Pelletkachels hebben de laagste emissieniveaus voor alle parameters
- Het stoken bij deellast ipv vollast leidt bij kachels tot een verhoging van de emissieniveaus met een factor 1,5-3,5.
- Moderne kachels bleken gevoelig voor het vochtgehalte van het hout, met een stijging van emissieniveaus met een factor 5-8 voor PM en OC. Voor oudere kachels en tegelkachels werden de emissies daarentegen weinig beïnvloed door het vochtgehalte van het gestookte hout. De hogere impact bij moderne kachels wordt toegewezen aan de beperkte capaciteit van het luchtsysteem in deze toestellen.
- Zowel voor kachels als voor ketels worden de emissies van elementair koolstof (EC) in vergelijking met andere parameters relatief weinig beïnvloed door stoken bij deellast of door het vochtgehalte van het hout. Emissies van EC vertoonden ook geen goede correlatie met PM emissies.



Figuur 19: Gemiddelde meetwaarden bij testen op 2 moderne stookhoutketels (Kindbom, et al., 2017)



Figuur 20: Gemiddelde meetwaarden bij testen op 2 moderne houtkachels (Kindbom, et al., 2017)
(NOM = nominale belasting, HIGH = hoge belasting, PART = deellast, SLW= standaard houtblok, DLW = droog houtblok, MLW = vochtig houtblok)

→ **Onderzoek door INERIS in opdracht van ADEME (Ademe - Ineris, 2016)**

In Frankrijk werden verschillende toestellen bij verschillende omstandigheden getest op een testbank van INERIS, met de bedoeling om reële praktijkcondities te simuleren. Er werden 2 kachels en 2 (gesloten/inzet) haarden getest die representatief geacht werden voor toestellen die op dat ogenblik in Frankrijk op de markt werden aangeboden. De resultaten van de metingen zijn samengevat in *Tabel 20*.

Tabel 20: Overzicht van gemiddelde meetresultaten (Ademe - Ineris, 2016)

Parameter		CO	CO ₂	NO _x	VOS	CH ₄	PM (solids)	PM (solids + condensables)	PAKs	Benzo(a)pyreen	BC
Eenheid		g/GJ	kg/GJ	g/GJ	g/GJ	g/GJ	g/GJ	g/GJ	mg/GJ	mg/GJ	g/GJ
Toestel	Haard	3575	93	56	638	194	102	282	440	42	13
	Haard	3384	92	55	711	249	161	484	463	35	12
	Kachel	3374	91	53	821	185	139	426	341	29	18
	Kachel	4067	91	54	926	266	166	476	880	96	12
Aantal houtblokken	1-2	3679	91	56	794	222	154	440	457	40	15
	2-4	3521	92	53	754	225	130	394	605	61	13
Belasting	Nominaal	2944	93	60	547	192	101	271	685	64	17
	Deellast	4256	90	49	1002	255	183	563	377	37	10
Houtsoort	Beuk	2856	91	59	576	190	80	226	795	78	12
	Eik	5016	91	57	1136	335	216	671	306	29	8
	Spar	2928	92	48	610	145	130	353	492	44	21
Aanmaak-procedure	Koud	4078	91	55	944	247	164	473	577	57	17
	Warm	3122	92	54	604	199	121	361	485	44	10
Gemiddelde		3600	92	54	774	223	142	417	531	51	14
Min		1448	85	33	151	51	13	94	116	8	1
Max		8183	95	69	2287	598	500	1355	2845	313	43

Uit deze cijfers werden volgende conclusies getrokken:

- De gebruikte houtsoort beïnvloedt op statistisch significante wijze de emissies. Met name bij het stoken van eik werden hogere emissies van CO, VOS, CH₄ en PM vastgesteld. Dit wordt verklaard door een mogelijk zuurstoftekort tijdens de verbranding (tekort aan primaire verbrandingslucht). Dit effect zou meer uitgesproken zijn naarmate de toestellen luchtdichter zijn uitgevoerd. Voor PAK's, benzo(a)pyreen en EBC werd een omgekeerde invloed vastgesteld (lagere emissies bij eik).
- Het stoken bij deellast ipv vollast leidt tot een verhoging van de emissies van CO, VOS, CH₄ en PM. Ook hier werd voor PAK's, benzo(a)pyreen en EBC een omgekeerde invloed vastgesteld (lagere emissies bij deellast).
- Ook de aanmaakprocedure is van grote invloed op de emissies, met voor alle parameters hogere emissies bij koud aanmaken dan bij warm aanmaken.
- De invloed van de overige variabelen (toesteltype, aantal blokken hout) is in vergelijking met bovenstaande parameters van ondergeschikt belang.

Vergelijking van de emissiewaarden voor PM (solids) en PM (solids + condensables) leert dat de waarden inclusief condensables een factor 2,7 tot 7,2 hoger liggen dan de waarden zonder condenseerbare fractie. Dit ligt in lijn met de conclusies uit andere vergelijkende studies in de literatuur, waar sprake is van een factor 2,5 tot 10 (European Environment Agency, 2019).

→ Conclusie

Milieuprestaties in reële omstandigheden, onder wisselende en niet steeds optimale verbrandingscondities, kunnen sterk kunnen afwijken van deze die gemeten worden in labo's bij gebruik van de genormeerde testprocedures onder optimale verbrandingscondities. De punten waarop de testprocedures onder meer afwijken van reële omstandigheden zijn:

- Zelden meenemen van opstart (en uitdoven)
- Meestal niet meenemen van stoken in deellast
- Doorgaans niet meten van de condenseerbare fractie van stof
- Ideale onderdruk
- Ideale brandstofkwaliteit (vochtgehalte, geen schors, ...)
- Ideale houtsoorten (bv. geen harshoudende naaldhoutblokken)
- Ideale brandstofafmetingen
- Ideale brandstofhoeveelheid
- Ideale installatie
- Ideale afstelling en gebruik (o.a. regeling van luchttoevoer)
- Voorverwarmd toestel.

Het aantal metingen onder reële omstandigheden (bij mensen thuis) is echter zeer beperkt. Wel zijn gegevens beschikbaar van milieuprestaties gemeten in labo's onder gesimuleerde praktijkomstandigheden. Hieruit is duidelijk dat gebruikersgedrag (in het bijzonder de gebruikte houtsoort, het gebruik van vochtig hout, het stoken bij deellast en de gebruikte aanmaakprocedure) kan leiden tot aanzienlijk hogere emissies. Door gebrek aan eenduidige en preciese informatie over gemiddeld of typisch gebruikersgedrag (oa gebruikte houtsoort, vochtigheidsgraad van het hout, gebruikte aanmaakprocedure, ..., en de combinatie van deze individuele aspecten), blijft er echter een relatief grote onzekerheid over de milieuprestaties in reële omstandigheden.

3.4.4. EMISSIEFACTOREN GEBRUIKT VOOR EMISSIEINVENTARISSEN

Voor de opmaak van emissieinventarissen wordt gebruik gemaakt van emissiefactoren voor diverse activiteiten en processen, waaronder huishoudelijke houtverwarming. Tabel 21 geeft een overzicht van de emissiefactoren uit het Europese richtlijnenboek voor de opmaak van nationale emissieinventarissen (European Environment Agency, 2019). Tabel 22 geeft de waarden die door VMM gehanteerd worden voor opmaak van de Vlaamse emissieinventaris.

Tabel 21: Emissiefactoren voor huishoudelijke houtverwarming volgen (European Environment Agency, 2019)

		Algemeen	Haard	Kachel - conventioneel	Kachel – hoog efficiënt	Kachel - geavanceerd	Ketel - conventioneel	Pelletkachel en -ketel
NO _x	g/GJ	50	50	50	80	95	80	80
CO	g/GJ	4000	4000	4000	4000	2000	4000	300
NM _{VOC}	g/GJ	600	600	600	350	250	350	10
SO _x	g/GJ	11	11	11	11	11	11	11
NH ₃	g/GJ	70	74	70	37	37	74	12
TSP (inclusief condensables)	g/GJ	800	880	800	400	100	500	62
PM ₁₀ (inclusief condensables)	g/GJ	760	840	760	380	95	480	60
PM _{2,5} (inclusief condensables)	g/GJ	740	820	740	370	93	470	60
BC	% van PM _{2,5}	10	7	10	16	28	16	15
TSP (exclusief condensables)	g/GJ		270	200	170	54	170	32
PM ₁₀ (exclusief condensables)	g/GJ		260	160	150	49	150	30
PM _{2,5} (exclusief condensables)	g/GJ		240	140	140	47	140	30
BC	% van PM _{2,5}		24	53	43	55	54	30
PCDD/F	ng I- TEQ/GJ	800	800	800	250	100	550	100
B(a)P	mg/GJ	121	121	121	121	10	121	10

Tabel 22: Emissiefactoren voor huishoudelijke houtverwarming gebruikt door VMM voor opmaak van de emissieinventaris lucht

		NO _x (ton/PJ)	CO (ton/PJ)	NMVOS (ton/PJ)	SO _x (ton/PJ)	NH ₃ (ton/PJ)	Stof (ton/PJ)	PM ₁₀ (ton/PJ)	PM _{2,5} (ton/PJ)	EIC (ton/PJ)	PCDD-F (g/PJ)	B(a)P (kg/PJ)
Houtbrandstoffen andere dan pellets												
Cassette / kachel	<2000	50	4000	600	11	70	800	760	740	74,00	0,8	121
	2000-2013	80	2000	350	11	37	400	380	370	59,20	0,1	10
	2014-2016	95	2000	250	11	37	100	95	93	26,04	0,1	10
	>=2017	95	1676	250	11	37	54	52	52	14,56	0,1	10
Ketel	<2000	80	4000	350	11	74	500	480	470	75,20	0,55	121
	2000-2013	80	4000	350	11	74	150	143	140	39,20	0,55	121
	2014-2016	80	4000	350	11	74	150	143	140	39,20	0,55	121
	>=2017	80	4000	350	11	74	36	34	33	4,95	0,55	121
Open haard	<2000	50	4000	600	11	74	880	840	820	57,40	0,8	121
	2000-2013	50	4000	600	11	74	880	840	820	57,40	0,8	121
	2014-2016	50	4000	600	11	74	880	840	820	57,40	0,8	121
	>=2017	50	4000	600	11	74	880	840	820	57,40	0,8	121
Speksteen/te gelkachel	<2000	80	2000	350	11	37	400	380	370	59,20	0,1	10
	2000-2013	80	2000	350	11	37	400	380	370	59,20	0,1	10
	2014-2016	95	2000	250	11	37	100	95	93	26,04	0,1	10
	>=2017	95	1676	250	11	37	54	52	52	14,56	0,1	10
Houtpellets												
Cassette / kachel	<2000	50	4000	600	11	70	800	760	740	74,00	0,8	121
	2000-2013	80	300	10	11	12	31	60	60	4,35	0,1	10
	2014-2016	80	300	10	11	12	31	60	60	4,35	0,1	10
	>=2017	80	300	10	11	12	31	60	60	4,35	0,1	10
Ketel	<2000	80	300	10	11	12	31	60	60	4,35	0,1	10
	2000-2013	80	300	10	11	12	31	60	60	4,35	0,1	10

	2014-2016	80	300	10	11	12	31	60	60	4,35	0,1	10
	>=2017	80	300	10	11	12	31	60	60	4,35	0,1	10
Open haard	<2000	50	4000	600	11	74	880	840	820	57,40	0,8	121
	2000-2013	50	300	600	11	74	880	840	820	57,40	0,8	121
	2014-2016	50	300	600	11	74	880	840	820	57,40	0,8	121
	>=2017	50	300	600	11	74	880	840	820	57,40	0,8	121
Speksteen/te gelkachel	<2000	80	300	10	11	12	31	60	60	4,35	0,1	10
	2000-2013	80	300	10	11	12	31	60	60	4,35	0,1	10
	2014-2016	80	300	10	11	12	31	60	60	4,35	0,1	10
	>=2017	80	300	10	11	12	31	60	60	4,35	0,1	10

Uit vergelijking van de emissiefactoren van VMM en die van EMEP, blijkt dat de emissiefactoren van VMM grotendeels gebaseerd zijn op die van EMEP. De belangrijkste overeenkomsten en verschillen zijn samengevat in Tabel 23. Voor stof komen de VMM-emissiefactoren overeen met de EMEP-emissiefactoren inclusief condensables.

Tabel 23: Vergelijking emissiefactoren VMM-EMEP

Toesteltype VMM	Leeftijd	Emissiefactoren overeenkomstig EMEP type	Uitzonderingen
Houtbrandstoffen andere dan pellets			
Cassette / kachel	< 2000	kachel - conventioneel	
	2000-2013	kachel - hoog efficiënt	CO, PCDD en B(a)P: kachel – geavanceerd
	2014-2016	kachel - geavanceerd	
	>= 2017	kachel - geavanceerd	stof en CO: eigen (lagere) waarden
Ketel	< 2000	ketel - conventioneel	
	2000-2013	ketel - conventioneel	stof: eigen (lagere) waarden
	2014-2016	ketel - conventioneel	stof: eigen (lagere) waarden
	>= 2017	ketel - conventioneel	stof: eigen (nog lagere) waarden
Open haard	< 2000	haard	
	2000-2013	haard	
	2014-2016	haard	
	>= 2017	haard	
Speksteen / tegelkachel	< 2000	kachel - hoog efficiënt	CO, PCDD en B(a)P: kachel – geavanceerd
	2000-2013	kachel - hoog efficiënt	CO, PCDD en B(a)P: kachel – geavanceerd
	2014-2016	kachel - geavanceerd	
	>= 2017	kachel - geavanceerd	stof en CO: eigen (lagere) waarden
Pellets			
Cassette / kachel	< 2000	kachel - conventioneel	
	2000-2013	pelletkachel en -ketel	
	2014-2016	pelletkachel en -ketel	
	>= 2017	pelletkachel en -ketel	
Ketel	< 2000	pelletkachel en -ketel	
	2000-2013	pelletkachel en -ketel	
	2014-2016	pelletkachel en -ketel	
	>= 2017	pelletkachel en -ketel	
Open haard	< 2000	haard	
	2000-2013	haard	
	2014-2016	haard	
	>= 2017	haard	
Speksteen / tegelkachel	< 2000	pelletkachel en -ketel	
	2000-2013	pelletkachel en -ketel	
	2014-2016	pelletkachel en -ketel	
	>= 2017	pelletkachel en -ketel	

3.4.5. GLOBALE IMPACT VAN HUISHOUDELIJKE HOUTVERBRANDING**→ Impact huishoudelijke houtverwarming op emissies, luchtkwaliteit, gezondheid en hinder**

VMM maakt jaarlijks een inschatting van de emissies naar lucht door verschillende bronnen. Voor huishoudelijke houtverwarming gebeurt de inschatting op basis van de huidige kennis van emissiefactoren, houtverbruik en samenstelling van het huishoudelijk houtpark (gebruikte toestellen). Volgens deze emissiecijfers levert houtverwarming een significante bijdrage aan de luchtverontreiniging in Vlaanderen, met een bijdrage van (VMM, 2019)

- 28% voor PM₁₀
- 44% voor PM_{2,5}
- 66% voor benzo(a)pyreen
- 22% voor dioxines.

Op basis van metingen in opdracht van VMM, werd geschat dat ongeveer 1/3 van de hoeveelheid fijn stof (PM₁₀) in de lucht in Dessel in de winter, afkomstig was van huishoudelijke houtverwarming (Van Poppel, et al., 2016).

Deze emissies hebben een negatieve invloed op de luchtkwaliteit, vooral tijdens het stookseizoen, en hebben gezondheidseffecten tot gevolg. Uit opeenvolgende humane biomonitoringscampagnes (2002-2006, 2007-2011 en 2012-2015), uitgevoerd door het Steunpunt Milieu en Gezondheid, blijkt dat er verhoogde blootstelling is aan vervuilende stoffen in het lichaam bij het stoken van hout (zowel binnen als buiten).

Uit hinderenquêtes van de Vlaamse overheid blijkt bovendien dat er een stijgende hinder is door rook uit het rookgaskanaal (inbegrepen rook van houtverwarming): het percentage mensen dat aangaf hinder te ondervinden (als antwoord op de vraag 'Als u denkt aan de voorbije 12 maanden, in welke mate bent u gehinderd of niet gehinderd in en om uw woning door rook uit schoorstenen?'), steeg van 4,3% in 2003 tot 5,9% in 2007, 7,4% in 2012 en 10,4% in 2017 (Departement Omgeving, 2018).

→ Hout als hernieuwbare energiebron – link met klimaatopwarming

CO₂ emissies uit houtverbranding ontstaan door verbranding van koolstof dat eerder uit de atmosfeer opgenomen werd en in hout werd opgeslagen, waardoor er netto geen CO₂ in de atmosfeer wordt gebracht. Om deze reden wordt hout volgens de van toepassing zijnde Europese regels als een hernieuwbare en CO₂ neutrale brandstof beschouwd. Huishoudelijke houtverwarming helpt door deze benadering mee aan het bereiken van de Europese doelstellingen om tegen 2020 13% van het Vlaamse energieverbruik op te wekken uit hernieuwbare energiebronnen. Ook komt hout in aanmerking om te voldoen aan het volgens EPB verplicht minimum aandeel hernieuwbare energie voor gebouwen.

Over de klimaatneutraliteit van hout als brandstof is er momenteel veel discussie. Er loopt momenteel een rechtzaak tegen de EU over dit gehanteerde principe.

Eerzijds veronderstelt CO₂ neutraliteit dat het hout afkomstig is van duurzame bosbouw, met evenwicht tussen kappen en aangroei, zodat de CO₂ die vrijgesteld wordt tijdens de houtverbranding, terug wordt vastgelegd in bomen. Als er meer/sneller hout wordt gekapt dan er weer nieuw hout bijgroeit, resulteert dit in een afname van het in bossen vastgelegde koolstof, waardoor er op middellange termijn en rekenend vanaf het moment van planten, netto een toename

is van CO₂ in de atmosfeer. In dat geval kunnen de emissies niet als klimaatneutraal beschouwd worden.

Anderzijds bestaan er naast verwarming andere toepassingsmogelijkheden voor hout, oa als grondstof (bv. bouwmaterialen). Bij deze toepassingen blijft het CO₂ langer opgeslagen in producten, waardoor er een toename is van de in de economie vastgelegde koolstof, en een afname van CO₂ in de atmosfeer. Het streven naar zo hoogwaardig mogelijke toepassingen is een uitgangspunt in het milieubeleid, en kan als argument gebruikt worden om CO₂ emissies uit houtverbranding niet per definitie als CO₂ neutraal te beschouwen (De Bruyn, van der Veen, & Korteland, 2019). Deze visie wordt echter niet algemeen gevolgd. Ook is er een ongekende hoeveelheid hout die (momenteel) nog niet voor andere toepassingen kan gebruikt worden omdat het niet centraal verzameld wordt om het toe te passen voor een hogere toepassing (bvb uit tuinonderhoud, onderhoud kleine privé-bossen) of omdat het kwalitatief niet voor andere toepassingen kan gebruikt worden (bvb takkenhout).

Tot slot heeft huishoudelijke huisverbranding een belangrijke bijdrage (38%) aan de uitstoot van zwarte koolstof (black carbon – BC). BC heeft opwarmende eigenschappen door absorptie van licht en warmte maar ook indirecte koelende eigenschappen. Netto draagt het bij aan klimaatopwarming. In tegenstelling tot CO₂ heeft BC echter een beperkte levensduur in de atmosfeer (enkele weken).

HOOFDSTUK 4. BESCHIKBARE MILIEUVRIENDELIJKE TECHNIEKEN

In dit hoofdstuk lichten we de verschillende maatregelen toe die bij huishoudelijke houtverwarming geïmplementeerd kunnen worden om milieuhinder te voorkomen of te beperken. Het gaat om maatregelen bij het ontwerp van nieuwe toestellen, maatregelen bij de installatie, het gebruik en het onderhoud van toestellen, en maatregelen voor retrofit van oude, vervuilende toestellen. Bij de bespreking van de milieuvriendelijke technieken komen telkens volgende punten aan bod:

- beschrijving van de techniek;
- toepasbaarheid van de techniek;
- milieuvoordeel van de techniek;
- financiële aspecten van de techniek.

De informatie in dit hoofdstuk vormt de basis waarop in hoofdstuk 5 de BBT-evaluatie zal gebeuren. Het is dus niet de bedoeling om reeds in dit hoofdstuk (hoofdstuk 4) een uitspraak te doen over het al dan niet BBT zijn van bepaalde technieken. Het feit dat een techniek in dit hoofdstuk besproken wordt, betekent m.a.w. niet per definitie dat deze techniek BBT is.

Voor de bespreking van de maatregelen worden eerst de maatregelen besproken die van toepassing zijn bij het ontwerp van nieuwe toestellen. Paragraaf 4.1 geeft de primaire maatregelen die toegepast kunnen worden in een nieuw toestel. Primaire maatregelen zijn maatregelen om de vorming van emissies te voorkomen en/of het energetisch rendement te verhogen. Vervolgens worden de secundaire maatregelen besproken (paragraaf 4.2). Secundaire maatregelen zijn maatregelen om emissies die toch gevormd zijn, te reduceren.

In paragraaf 4.3 en 4.4 worden vervolgens de primaire en secundaire maatregelen besproken die beschikbaar zijn als retrofit voor bestaande toestellen.

Tot slot worden de maatregelen besproken met betrekking tot de installatie van de toestellen (paragraaf 4.5), het gebruik van de toestellen (paragraaf 4.6) en het onderhoud van de toestellen en het rookgaskanaal (paragraaf 4.7).

4.1. ONTWERP VAN NIEUWE TOESTELLEN – PRIMAIRE MAATREGELEN

Bij het ontwerp van een toestel voor huishoudelijke houtverwarming kunnen diverse technieken toegepast worden om de verbrandingskwaliteit te bevorderen. De maatregelen bestaan uit het optimaliseren van de verbrandingskamer en de luchttoevoer.

Deze technologieën zijn steeds gericht om de 3T's te optimaliseren, meer bepaald een voldoende hoge temperatuur in de verbrandingskamer, voldoende turbulentie van de luchtstromen en een voldoende lange verblijfstijd in de desbetreffende verbrandingszones met als doel een optimale verbranding te creëren en bijgevolg de emissies te reduceren.

De temperatuur wordt onder andere beïnvloed door het gebruikte materiaal, aanwezigheid van isolatie, de vorm en grootte van de verbrandingskamer en de al dan niet aanwezigheid van een glasraam. De belangrijkste factoren die invloed hebben op de turbulentie zijn de luchttoevoer en voldoende trek alsook de grootte en vorm van de verbrandingskamer. De luchttoevoer en de verspreiding van de lucht in de verbrandingskamer ten opzichte van de grootte van de

verbrandingskamer bepalen in grote mate de verblijfstijd. In onderstaande paragrafen worden elk van de maatregelen besproken.

4.1.1. VLAMKEERPLAAT

→ Beschrijving

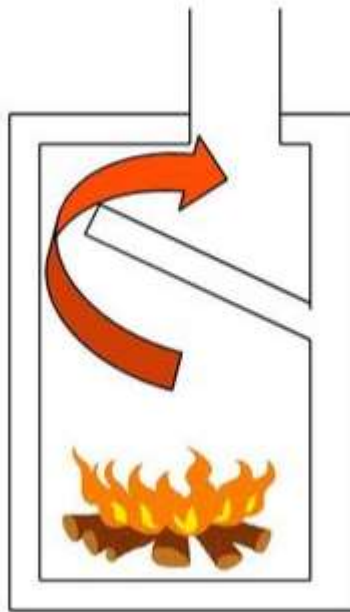
Een vlamkeerplaat, soms ook remplaat genoemd, wordt ingezet om het verbrandingsproces te verbeteren. Deze plaat zorgt ervoor dat de rookgassen niet rechtstreeks in de schouw terecht komen zodat er een betere warmteoverdracht kan plaats vinden. Door de ontstane stuwing worden bijkomend de onverbrande gassen secundair naverbrand. Dit zorgt voor een verdere verhoging van het rendement. Een vlamkeerplaat heeft bijgevolg een positieve invloed op de 3T's: vermindering van de warmteverliezen (= verhoging van de temperatuur), verhoging van de turbulentie en verblijfstijd. Bijkomende voordelen van deze vlamkeerplaat zijn:

- verhinderen dat de vlammen in het rookgasafvoerkanaal komen wat het risico op een schoorsteenbrand kan verhogen
- voorkomen dat de materialen boven de vlamkeerplaat blootgesteld worden aan vlammen met hogere temperaturen
- depositie van (grof) stof in de ruimte achter de vlamkeerplaat waardoor de stofemissies verlaagd worden bij de schoorsteenmonding.

Een vlamkeerplaat kan gemaakt zijn van vuurvaste materialen, bijvoorbeeld gietijzer, vuurvaste steen, staal, Chamotte,... en kan indien nodig makkelijk vervangen worden.

Indien het toestel beschikt over een 2^{de} verbrandingskamer leidt de vlamkeerplaat de warme gassen van de eerste verbrandingskamer naar de tweede verbrandingskamer.

Een vlamkeerplaat kan ook uit gemaakt zijn uit rookgasdoorlatende schuimkeramiek, dat tevens een filterende werking heeft, en daarom ook wel filter genoemd wordt. Het zorgt tegelijk voor een betere verbranding, namelijk door de enorme warmtereflectie, en voor een reductie van de fijn stof emissies.



Figuur 21: De vlamkeerplaat in de kachel zorgt ervoor dat de warme gassen niet rechtstreeks in het rookgaskanaal verloren gaan (Van Walsem Kachelspecialist, 2019)

→ Toepasbaarheid

Er zijn geen technische beperkingen gekend. Een vlamkeerplaat wordt reeds standaard toegepast bij houtgestookte kachels en inzet/inbouwkachels.

→ Milieuvoordeel

De aanwezigheid van een vlamkeerplaat zorgt voor een betere verbranding waardoor de emissies dalen en de energie-efficiëntie stijgt.

→ Financiële aspecten

De kostprijs van een vlamkeerplaat is beperkt tot minder dan 100 euro. De prijs van een rookgasdoorlatende filter uit schuimkeramiek bedraagt meer dan 100 euro.

4.1.2. ROOSTER IN DE VERBRANDINGSKAMER

→ Beschrijving

Indien een rooster aanwezig is in de verbrandingskamer wordt hierop de brandstof verbrand. Een rooster in de verbrandingskamer zorgt ervoor dat de assen door het rooster vallen en in een aslade verzameld worden die vervolgens makkelijk leeggemaakt kan worden (zie Figuur 22). Er zijn echter ook nadelen aan het stoken op een rooster:

- Heel wat onvolledig verbrande deeltjes vallen eveneens door het rooster, deze hebben nog een energetische waarde en het verdwijnen hiervan in de aslade doet het rendement dalen.
- Een teveel aan toevoer primaire verbrandingslucht via het rooster zorgt voor afkoeling van het vuur en het omhoog blazen van verbrandingsgassen, die dan mogelijks onvolledig verbranden, en resulteren in een stijging van de emissies.

Pellettoestellen maken standaard gebruik van een rooster aangezien het asbed hier een obstructie vormt voor de lucht die langs onder wordt aangevoerd. Bij houtkachels wordt zowel het systeem met een rooster als een systeem met stoken op steen in de assen toegepast, de keuze is voornamelijk afhankelijk van het totale verbrandingsconcept van het toestel. Er is eveneens een tussenvariant waarbij het rooster afsluitbaar is.

Bij ketels kan er een onderscheid gemaakt worden tussen:

- 'getrapte rooster' technologie waarbij de brandstof zich verplaatst op de rooster door verschillende temperatuurszones waarbij het achtereenvolgens gedroogd, vergast en uiteindelijk volledig verbrand wordt.
- Roterend rooster: door de continue beweging wordt as continu wordt te veel gezeefd waardoor de verbranding steeds plaats vindt op een kleine hoeveelheid as.

Bij goede verbranding is er echter weinig asresidu.



Figuur 22: Voorbeeld van een rooster in de verbrandingskamer van een open haard (Werkspot, 2010)

→ Toepasbaarheid

Er zijn geen technische beperkingen gekend. Het gebruik van een asla is mogelijk maar complex bij luchtdichte systemen.

Bij houtkachels en inbouw/inzethaarden is afhankelijk van het totale verbrandingsconcept het stoken op een rooster of het stoken op steen het meest aangewezen. Bij ketels of pellettoestellen wordt standaard een rooster toegepast.

→ Milieuvoordeel

Door de verwijdering van as, kan er een betere verbranding plaatsvinden waardoor de emissies dalen. Anderzijds verhoogt een teveel aan toevoer van primaire verbrandingslucht doorheen het

rooster de emissies. Een stenen bodem bevordert in bepaalde gevallen bij stookhoutkachels de opstartfase waardoor hier een betere verbranding is en lagere emissies.

→ Financiële aspecten

De meerkost voor het gebruik van een rooster is beperkt.

4.1.3. ISOLATIE VAN DE VERBRANDINGSKAMER(S)

→ Beschrijving

Isolatie houdt de warmte in de verbrandingskamer waardoor de verbrandingskamer op hoge temperatuur blijft en goede verbrandingscondities behoudt. Isolatiemateriaal is van het vuurvaste type, met andere woorden bestand tegen hoge temperaturen.

Er zijn verschillende soorten isolatiemateriaal, onder andere vuurvaste isolatiedoek, vuurvaste stenen (bv. Chamotte), vuurvaste platen (bv. Vermiculiet, zie ook Figuur 23), ...

Vooraf bij kachels worden vuurvaste stenen of platen gebruikt als bescherming van de stalen of gietijzeren buitenkant. Bovendien nemen deze ook de warmte op en geven deze af als stralingswarmte, tot een tijdje nadat het verbrandingsproces reeds gestopt is.

De grootte en het type van het glasraam spelen ook een belangrijke rol op vlak van isolatie aangezien hier grote warmteverliezen mogelijk zijn, zie paragraaf 4.1.5.



Figuur 23: Isolatie van een houtkachel met vuurvaste keramische bemanteling (Stokertje, 2019)

→ Toepasbaarheid

Er zijn geen technische beperkingen gekend. Isolatie van de verbrandingskamer wordt reeds standaard toegepast.

→ Milieuvoordeel

Het gebruik van vuurvast isolatiemateriaal heeft een positieve invloed op het behoud van hoge temperaturen in het verbrandingsproces waardoor deze optimaler verloopt en de emissies dalen. Ook is er een gunstig effect op het energetisch rendement.

→ Financiële aspecten

Er zijn geen financiële gegevens gekend. Echter het gebruik van hittebestendig isolatiemateriaal vergt een extra investering voor het desbetreffende materiaal.

4.1.4. GEBRUIK VAN HITTE REFLECTEREND MATERIAAL IN DE VERBRANDINGSKAMER

→ Beschrijving

Hitte reflecterend materiaal heeft als doel om zo snel mogelijk een optimale temperatuur te creëren in de verbrandingskamer en deze vervolgens ook te behouden. Een voorbeeld van hitte reflecterend materiaal is Vermiculiet.

→ Toepasbaarheid

Er zijn geen technische beperkingen gekend.

Het gebruik van te sterk hitte reflecterend materiaal is niet aangewezen voor bijvoorbeeld kachels met een glazen voorkant waarbij de temperatuur van het glas te hoog wordt en het glas springt. Een juiste combinatie tussen Vermiculiet en gietijzer is aangewezen. Momenteel wordt het voornamelijk toegepast bij pelletkachels en in mindere mate bij houtkachels of pelletketels. Bij accumulatiekachels wordt het niet toegepast.

→ Milieuvoordeel

Het verhogen van de temperatuur tijdens de opstartfase verlaagt de emissies tijdens deze fase gezien men sneller de nodige temperaturen voor een optimale verbranding bereikt. Na de opstartfase draagt hitte reflecterend materiaal bij tot het behoud van de temperatuur in de verbrandingskamer wat een positief effect heeft op de emissies en het rendement. Het nadeel van Vermiculiet is dat het zeer broos is.

→ Financiële aspecten

Er zijn geen financiële gegevens gekend. Echter het gebruik van hitte reflecterend materiaal vergt een extra investering voor het desbetreffende materiaal.

4.1.5. GLASRAAM MET BEPERKT OPPERVLAKE EN DUBBEL, DRIEDUBBEL OF GECOAT GLAS.**→ Beschrijving**

Het glasraam zorgt in de eerste plaats voor het esthetische effect en heeft daarnaast als voordeel dat het visueel zichtbaar/controleerbaar is wanneer brandstof moet bijgevuld worden of wanneer er slecht gestookt wordt (roetaanslag op het glasraam). Het nadeel is dat het warmteverlies in de verbrandingskamer groter is bij aanwezigheid van een glasraam. Warmteverlies via het glasraam kan beperkt worden door de hoeveelheid en grootte van de glaspartij te beperken en te kiezen voor een type glas met betere isolatiegraad en bijgevolg beperkt warmteverlies (bv. dubbel glas, driedubbel glas, gecoat glas). Dubbel glas wordt reeds beperkt toegepast maar vraagt een extra financiële investering gezien de constructie complexer is en het glas duurder, het reinigen vereist namelijk dat de glazen uit elkaar gehaald kunnen worden. Driedubbel glas wordt momenteel enkel gebruikt bij kookfornuizen.

De dichting van het glas is eveneens van groot belang om de luchtdichtheid van het toestel te garanderen.

→ Toepasbaarheid

Er zijn geen technische beperkingen gekend. Bij pelletkachels wordt een beperking van de glasoppervlakte standaard toegepast. Houtgestookte toestellen hebben vaker een hogere esthetische waarde waardoor de glaspartij van groot belang is. Bij ketels wordt er geen gebruik gemaakt van een glasraam.

→ Milieuvoordeel

Bij een te groot warmteverlies is niet meer voldaan aan de optimale verbrandingscondities waardoor de emissies toenemen. Het kiezen voor een geschikt glasraam kan bijdragen aan een vermindering van het warmteverlies in de verbrandingskamer en bijgevolg aan een beperking van de emissies. Dubbel glas bijvoorbeeld kan de verbrandingstemperatuur met 150°C doen stijgen waardoor dit een belangrijk effect heeft op de emissies. Ook in de opstartfase zal veel sneller de optimale temperatuur bereikt worden gezien er veel minder warmteverlies is.

→ Financiële aspecten

Er zijn geen financiële gegevens gekend. Echter het gebruik van dubbel glas vergt een extra investering voor het glas zelf als voor de complexere constructie die hiermee gepaard gaat.

4.1.6. VORM VERBRANDINGSKAMER**→ Beschrijving**

Voor het bereiken van een optimale verbranding speelt ook de vorm van de verbrandingskamer een belangrijke rol. Op vlak van ontwerp moet men rekening houden met volgende aspecten:

- Een verbrandingsruimte die voldoende hoog en smal is heeft de voorkeur gezien hierbij de zuurstof uit de verbrandingslucht de brandbare bestanddelen in het houtgas goed kan bereiken en oxideren.
- Voldoende turbulentie
- Zo homogeen mogelijk profiel in verbrandingskamer, zonder plotse verandering van richting of doorsnede, en zonder 'dode zones' (waar er een slechte mix is van zuurstof en rookgassen).
- Verbrandingsgassen steeds terugsturen om verblijfstijd te verhogen.
- Goede warmteafgifte na de 2e verbrandingskamer (zie paragraaf 4.1.7) opdat de rookgassen voldoende kunnen afkoelen en warmte afgegeven wordt aan de ruimte. Geforceerde ventilatie kan hiertoe bijdragen.

Een voldoende hoge verbrandingskamer is belangrijk voor een optimale verbranding, meer bepaald om een optimale verblijfstijd en turbulentie van de rookgassen in de verbrandingskamer te bereiken. Accumulatiekachels, pellettoestellen en ketels berusten op deze techniek en vertonen vaak een verbrandingskamer met een hoogte van meer dan 1 meter.

→ Toepasbaarheid

Bij inzetkachels/cassettes is vaak door de beperkte ruimte geen verticale verbrandingskamer mogelijk. Bij inbouwkachels en houtgestookte kachels waar het visuele aspect een belangrijke rol speelt, wordt het minder toegepast.

→ Milieuvoordeel

Een verticale verbrandingskamer resulteert in een verbetering van het verbrandingsproces met bijhorende stijging van het rendement en daling van de emissies.

→ Financiële aspecten

Er zijn geen financiële gegevens gekend over een eventuele meerprijs voor een vertikale verbrandingskamer.

4.1.7. AANWEZIGHEID VAN EEN 2E VERBRANDINGSKAMER OF VERBRANDINGSZONE/-KANAAL VOOR DE NAVERBRANDING

→ Beschrijving

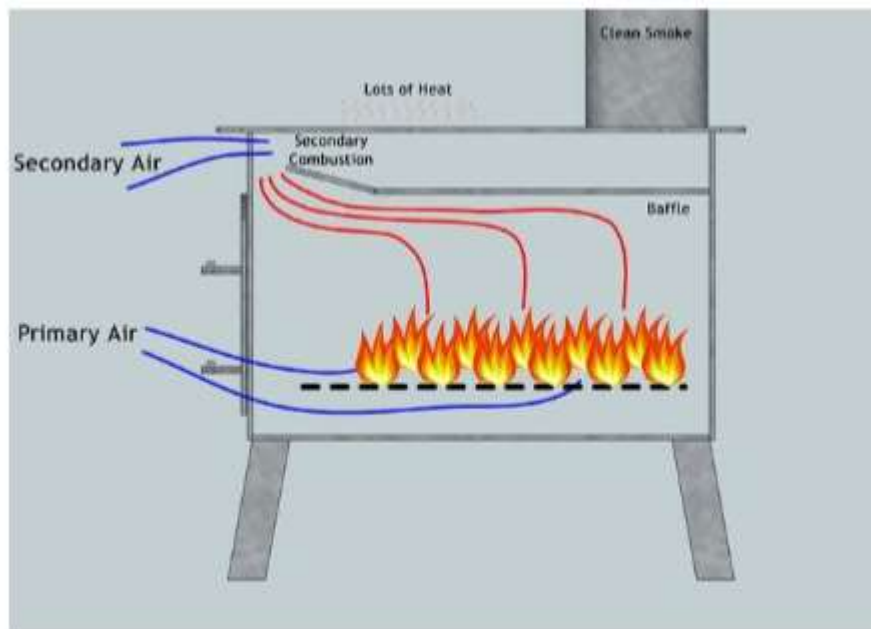
De aanwezigheid van een 2e verbrandingskamer of verbrandingszone/-kanaal voor de naverbranding zorgt voor een betere verbranding van de niet verbrande deeltjes in de rookgassen doordat hier wordt ingespeeld op de tijd en turbulentie om tot een optimale secundaire verbranding te komen. Bij beide systemen is er een extra injectie van secundaire verbrandingslucht. Indien deze zich onder de vlamkeerplaat bevindt, spreken we van een 2^e verbrandingszone, indien deze zich boven de vlamkeerplaat bevindt, wordt dit een 2^e verbrandingskamer genoemd.

Bij een 2^e verbrandingszone kan er gebruik gemaakt worden van de hoge temperatuur in de verbrandingskamer maar heeft men ook de nadelen hiervan zoals te veel turbulentie waarbij de rookgassen soms te snel door de verbrandingszone gaan. De locatie voor toevoer van secundaire

verbrandingslucht is zeer belangrijk: te laag ingebouwd doet de toegevoerde lucht dienst als verbrandingslucht, te hoog ingebouwd is het effect hiervan kleiner gezien de verblijfstijd na vermenging met de pyrolysegassen op hoge temperatuur korter is.

Een aparte verbrandingskamer is ontwikkeld voor optimale condities voor naverbranding maar door de afkoeling van de rookgassen is het moeilijker om de verbranding staande te houden.

Er zijn ook innovaties op vlak van een horizontale verbrandingskamer waarbij de gassen opzij geleid worden en waardoor de opstijgende gassen in een afgesloten verbrandingskamer aan de zijkant geleid worden.



Figuur 24: Schematische weergave van een secundaire verbrandingszone in een kachel (Plomp, 2017)

→ Toepasbaarheid

Er zijn geen technische beperkingen gekend. De aanwezigheid van een 2^e verbrandingskamer of verbrandingszone wordt reeds standaard toegepast. Momenteel wordt het gebruik van een 2^e verbrandingszone het meeste toegepast.

→ Milieuvoordeel

Een betere secundaire verbranding resulteert in een verhoging van het rendement en een daling van de emissies. Een 2^e verbrandingskamer waar een voldoende hoge temperatuur gehouden kan worden, heeft een betere emissiereductie dan een 2^e zone. Echter indien de temperatuur van de 2^e verbrandingskamer onvoldoende hoog is, is het resultaat veel kleiner.

Toestellen met een neerwaartse trek hebben altijd een tweede verbrandingskamer en zouden daarom ook lagere emissies moeten hebben. Het zijn echter complexere toestellen die duurder zijn, geen vlambeeld hebben en bijgevolg weinig verkocht worden.

→ Financiële aspecten

Er zijn geen gegevens gekend omtrent de financiële meerkost voor een naverbrandingszone of extra verbrandingskamer

4.1.8. GETRAPTE LUCHTTOEVOER

→ Beschrijving

In het verbrandingsproces kan men verschillende fases onderscheiden (zie paragraaf 3.1.1). Een optimale verbranding kan enkel bereikt worden als elk van deze fases optimaal verloopt. Zo is het belangrijk om de opstartfase zo snel mogelijk te laten verlopen en over te schakelen naar de nominale fase. Fases van smeulen moeten steeds zoveel mogelijk vermeden worden. Aangezien elk van deze fasen andere vereisten heeft op vlak van luchttoevoer, wordt een onderscheid gemaakt tussen de mogelijke aanwezigheid van diverse soorten luchttoevoeren: primaire, secundaire en tertiaire luchttoevoer en de luchttoevoer om het glasraam zuiver te houden:

- De primaire luchttoevoer zorgt voor de aanvoer van zuurstof bij het aansteken van de kachel en dient om de brandstof te vergassen en de houtskool te verbranden. Eenmaal het haardvuur brandt, kan de primaire luchttoevoer afgesloten/beperkt worden. De aanvoer van primaire lucht kan via speciaal voorziene openingen, door de ventilatieroosters open te zetten of door de deur op een kier te zetten.
- De secundaire luchttoevoer vindt plaats in de bovenste zone van de verbrandingskamer of in een aparte 2^e verbrandingskamer, waar de secundaire verbranding plaats vindt (zie paragraaf 4.1.7). Ze zorgt voor menging en turbulentie van de pyrolysegassen met als doel een betere oxidatie/naverbranding van niet verbrande deeltjes en producten van onvolledige verbranding in de rookgassen. Er is ook de mogelijkheid om secundaire lucht via meerdere vernauwde openingen toe te voeren en zo de turbulentie nog meer te verhogen.
- Tertiaire luchttoevoer: deze term wordt soms gebruikt voor de luchttoevoer in een aparte naverbrandingskamer maar heeft dezelfde functie als secundaire luchttoevoer, namelijk extra turbulentie bij de oxidatie van de niet verbrande deeltjes in de rookgassen met als doel een betere naverbranding en hierbij horend hoger rendement en lagere emissies.
- Daarnaast beschikken moderne kachels ook over een luchttoevoer om het glasraam zuiver te houden (glasspoellucht), deze lucht stroomt langs het raam en beperkt hierdoor de hoeveelheid roet die zich op het glasraam afzet. Vervolgens doet de lucht dienst als primaire of secundaire verbrandingslucht.

Een minimum vereiste voor getrapte luchttoevoer volgens de *Guidelines for Low Emission and High Efficiency Stove Concepts* van ERA-NET Bioenergy project "Woodstoves 2020" (juli 2017) is primaire lucht in combinatie met luchttoevoer om het glasraam zuiver te houden waarbij beide stromen apart controleerbaar zijn. De regeling van luchttoevoer kan handmatig of automatisch (zie paragraaf 4.1.9). Bij handmatige regeling kan er een onderscheid gemaakt worden tussen het regelen van elke luchttoevoer apart of een systeem met een monoregeling (zie paragraaf 4.1.9) waarbij door middel van vaak een rotatieschijf de verhouding van de verschillende types luchttoevoer mechanisch vastgelegd is per regime door de fabrikant.

De secundaire lucht moet voorverwarmd zijn. Dit kan gerealiseerd worden door het ontwerp van de luchtkanalen (zie paragraaf 4.1.12). Primaire lucht daarentegen mag niet voorverwarmd worden, om te snelle verbranding te vermijden.

In goed geïsoleerde en luchtdichte huizen kan er onvoldoende aanvoer van lucht zijn uit de te verwarmen ruimte. Het is daarom beter en efficiënter om gebruik te maken van een luchtdicht toestel en de verbrandingslucht direct van buiten aan te voeren (zie paragraaf 4.5.3).

→ **Toepasbaarheid**

De meeste kachels beschikken over een primaire en secundaire luchttoevoer.

→ **Milieuvoordeel**

Een getrapte luchttoevoer optimaliseert het verbrandingsproces wat resulteert in een verhoging van het rendement en een verlaging van de emissies (voornamelijk CO en fijn stof).

→ **Financiële aspecten**

De meerkost omwille van de extra kanalen voor luchttoevoer bedraagt 100 tot 200 euro.

4.1.9. STURING LUCHTTOEVOER – MONOREGELING LUCHTTOEVOER

→ **Beschrijving**

De verhouding van de verschillende types luchttoevoer zijn mechanisch vastgelegd per regime door de fabrikant door middel van bijvoorbeeld een rotatieschijf die manueel bediend wordt door de gebruiker. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen opstart-, nominaal met regeling naar vermogen en uitmaakregime. Belangrijk hierbij is dat op de regeling duidelijk is aangegeven in welke positie de regeling staat.

→ **Toepasbaarheid**

De techniek wordt toegepast bij stookhoutgestookte toestellen. Bij de toestellen uit de bevraging is een monoregeling standaard.

→ **Milieuvoordeel**

Een goede sturing van de luchttoevoer optimaliseert het verbrandingsproces wat resulteert in een verhoging van de efficiëntie en een verlaging van de emissies.

→ **Financiële aspecten**

De meerkost voor een monoregeling is beperkt.

4.1.10. STURING LUCHTTOEVOER - AUTOMATISCH REGELING VAN LUCHTTOEVOER EN LUCHTCIRCULATIE

→ Beschrijving

Een traditionele houtkachel wordt vaak voorzien van getrapte luchttoevoer (zie paragraaf 1.1.1). De handmatige bediening van het al dan niet openen en/of sluiten van de luchttoevoer kan een grote impact hebben op het verbrandingsproces:

- Primaire luchttoevoer:
 - o Te veel primaire luchttoevoer brengt reeds een gedeeltelijke oxidatie van de pyrolysegassen met zich mee wat vervolgens resulteert in teveel onverbrande gassen.
 - o Te weinig primaire luchttoevoer geeft een smeulend effect in plaats van verbranding en dit heeft een negatieve invloed op het rendement en de emissies.
- Secundaire luchttoevoer:
 - o Te veel secundaire luchttoevoer doet de verbrandingstemperatuur dalen waardoor de verbrandingsomstandigheden minder gunstig worden en de emissies stijgen.
 - o Te weinig secundaire luchttoevoer geeft een onvolledig oxidatie met hogere emissies tot gevolg.

Dit geldt eveneens voor de systemen die voor de luchttoevoer gebruik maken van een elektrische rookgasventilator die manueel aangestuurd wordt. Hier blijft de impact van de gebruiker nog steeds groot.

Het systeem van de monoregeling (zie paragraaf 1.1.1) beperkt de invloed van de gebruiker maar ook hier is het nog steeds de gebruiker die bepaalt voor welk regime er gekozen wordt.

Automatische systemen zorgen voor een optimale toevoer van primaire, secundaire, tertiaire en/of glasspoellucht waarbij kleppen en/of een rookgasventilator thermo-mechanisch of elektronisch op basis van metingen aangestuurd worden om de verbrandingscondities te optimaliseren gedurende het hele proces. Over het algemeen geldt de regel dat hoe meer automatisatie, hoe minder invloed van de gebruiker, hoe minder emissies tengevolge van foutief gebruik en hoe kleiner het verschil met de metingen onder labo omstandigheden.

Het systeem vereist robuuste sensoren, elektriciteit en moet geschikt zijn voor meerdere type kwaliteit van brandstof en beladingsgraad.

Volgende systemen zijn beschikbaar en kunnen ook gecombineerd worden:

- Controle temperatuur: meten de temperatuur van het rookgas in de verbrandingskamer; zijn binnen de groep sensoren eerder goedkoop maar toch voldoende robuust en hierdoor een geschikte keuze voor controle in kachels.
- Gassensoren: voor het meten van zuurstof (λ sensor), koolstofdioxide, koolstofmonoxide, of waterstof in de rookgassen. Deze zijn het meest geschikt voor het behalen van een hoge efficiëntie en lage emissies.
 - o Zuurstofsensoren zijn betrouwbaar en duurzaam met goede nauwkeurigheid en weinig kruisgevoeligheid.
 - o Sensoren voor koolstofmonoxide detecteren meestal alle onverbrande componenten (CO en H₂ samen). Deze sensoren zijn eveneens geschikt maar zijn duurder dan de zuurstofsensoren.
 - o Combinatie van zuurstofsensoren en sensoren voor koolstofmonoxide leveren de hoogste efficiëntie en laagste emissies maar zijn nog duur in aankoop.
- Druksensoren/Sensor overtollige lucht

- Sensor voor herkennen vlam
- Sensor voor herkennen deur open
- ...

Het gebruik van een temperatuurscontrole of gassensor voor de sturing is voornamelijk een keuze van de fabrikant, beide systemen zijn evenwaardig en complementair.

→ Toepasbaarheid

Er zijn geen technische beperkingen gekend. Wel is het belangrijk dat er ook een manuele controle mogelijk blijft in geval er geen stroom is of één van de sensoren niet werkt.

Bij pelletgestookte toestellen wordt de automatische sturing van de luchttoevoer reeds standaard toegepast, voornamelijk op basis van een temperatuurscontrole van het rookgas. Een controle van de vlamtemperatuur wordt eventueel gebruikt voor het regelen van de toevoer van de brandstof. Bij de houtgestookte toestellen wordt automatische sturing beperkt toegepast. De reden hiervoor is dat de eenvoudige toestellen weinig kennis vragen, eenvoudig zijn in gebruik en onderhoud. Complexere toestellen “schrikken nog af”, nochtans zijn deze toestellen eenvoudig in gebruik en geven hierdoor ook een extra comfort op vlak van gebruik. Een bijkomend voordeel van een goede sturing is dat deze systemen ook goed werken op deellast.

→ Milieuvoordeel

Een goede regeling van de luchttoevoer zorgt voor een juiste temperatuur en luchtstroom bij het verbrandingsproces wat resulteert in een verhoging van de efficiëntie en een verlaging van de emissies (voornamelijk CO en fijn stof). Het gebruiksgemak neemt bovendien toe en de factor fout gebruik wordt beperkt. Automatische controlesystemen zorgen ervoor dat de verbrandingsprocessen in realiteit korter bij deze in labo omstandigheden komen en vormen daarom de basis voor lage emissies.

Door het meten van de temperatuur in de verbrandingskamer en in de toevoer kan men een kortere fase voor ontsteking verkrijgen, meer stabiele zuurstofconcentraties in de rookgassen tijdens de verbranding en naverbranding alsook lagere toevoer zuurstof en voldoende hoge temperaturen in de verbrandingskamers. Het meten van O_2 zuurstof of andere gassen, bijkomend of als alternatief, verhoogt eveneens de efficiëntie van het verbrandingsproces waardoor in combinatie met temperatuursmeting een nog hoger rendement en lagere emissies gehaald worden.

De invloed van de gebruikte brandstof (bv. te vochtig hout) kan hierdoor niet opgevangen worden. Echter de meting van zuurstof in combinatie met de meting van de verbrandingstemperatuur kan wel gebruikt worden om de gebruiker erop te wijzen dat de brandstof van slechte kwaliteit is. Wanneer de gebruiker nieuw hout oplegt en het systeem extra lucht aanvoert zonder dat dit leidt tot een temperatuursverhoging en terwijl de zuurstof aanwezig in de rookgassen op peil blijft, dan is een slechte brandstof de enige mogelijke oorzaak. Zonder zuurstofmeting kan ook een storing in de luchtaanvoer door bijvoorbeeld slechte trek de oorzaak zijn.

Een automatische regeling van de luchttoevoer heeft eveneens een positieve invloed op het houtverbruik, dat lager kan zijn dan bij een handmatige regeling.

Er is bijkomende elektriciteit vereist voor de aansturing van het hele systeem. Voor de temperatuursensor is dit beperkt tot 3 watt, een zuurstofsensor moet steeds opgewarmd worden en heeft hierdoor een groter energieverbruik.

→ Financiële aspecten

De automatische sturing betekent een meerkost in vergelijking met een standaard verbrandingssysteem. Prijs/kwaliteit in acht genomen is de temperatuursensor het meest geschikt voor particuliere installaties. De combinatie van een sensor voor O₂ en CO is duur en wordt daarom nog maar weinig toegepast. De combinatie van een temperatuursensor met een zuurstofsensor is meer in gebruik. De meerkost voor deze automatische sturing komt neer op 500 à 800 euro. Hoe meer automatische sturing, hoe groter de meerkost. Leveranciers geven aan dat de terugverdientijd voor automatische sturing ongeveer 4 à 5 jaar bedraagt. Indien deze sensoren op grotere schaal toegepast worden, kan de meerprijs aanzienlijk dalen.

4.1.11. LUCHTDICHTE UITVOERING VAN HET TOESTEL

→ Beschrijving

Een luchtdicht toestel heeft een gesloten verbrandingskamer die hermetisch is afgesloten van de woonruimte. Luchtdichte toestellen laten een gecontroleerde luchttoevoer toe, wat ten goede komt aan de kwaliteit van verbranding en het rendement (oa door het vermijden van een te groot luchtoverschot). Bij een luchtdichte uitvoering van het toestel is er ook minder risico op rookgassen in de woonruimte.

Aanvoer van lucht uit de woonruimte, bij een niet luchtdicht toestel, vereist voldoende ventilatie van de woonruimte. De lucht kan in oude niet luchtdichte woningen binnenkomen via allerlei kieren en spleten. Echter in moderne en luchtdichte woningen met mechanische afvoerventilatie en/of dampkappen in de (aangesloten) keuken kan, in geval van een niet luchtdicht toestel, de onderdruk die door die apparaten wordt gecreëerd sterker zijn dan de schouwtrek, waardoor het verbrandingstoestel onvoldoende verbrandingslucht krijgt wat resulteert in een slechte verbranding. Er kunnen bovendien rookgassen naar binnen worden gezogen. In luchtdichte woningen is het daarom essentieel om gebruik te maken van luchtdichte toestellen die de verbrandingslucht rechtstreeks van buiten halen. Bij toestellen die werken met een regeling van de luchttoevoer is het eveneens essentieel dat het toestel luchtdicht is gezien anders de werking teniet gedaan wordt door eventuele lekken in het systeem.

Er zijn momenteel nog geen normen voor luchtdichtheid, deze zouden wel opgenomen worden in de toekomstige Europese kwaliteitseisen.

→ Toepasbaarheid

Een luchtdichte uitvoering van de toestellen is algemeen toepasbaar. Voor luchtdichte huizen is het reeds een vereiste.

→ Milieuvoordeel

Luchtdichte toestellen hebben een betere controle van de luchttoevoer wat resulteert in een betere verbranding en bijgevolg lagere emissies en hoger rendement. Bovendien zorgen luchtdichte toestellen ervoor dat er geen rookgassen in de woonruimte terecht kunnen komen wat resulteert in een daling van de gezondheidsrisico's (CO vergiftiging).

→ **Financiële aspecten**

De extra dichtingen voor een luchtdichte uitvoering hebben een beperkte meerkost.

4.1.12. VOORVERWARMING SECUNDAIRE TOEVOERLUCHT VERBRANDING

→ **Beschrijving**

Voorverwarming van secundaire verbrandingslucht kan ofwel door het kanaal van de luchtregeling tot aan de uitmonding door de verbrandingskamer te laten lopen, ofwel door gebruik te maken van een dubbelwandig rookgaskanaal. De rookgassen worden hierbij via het centrale kanaal afgevoerd en geven warmte af aan het buitenste kanaal dat gebruikt wordt voor de (externe) luchttoevoer waardoor deze voorverwarmd wordt. Systemen waarbij de lucht wordt aangezogen door een dubbelwandig rookgaskanaal zijn enkel mogelijk bij zeer luchtdichte toestellen en onder wel gedefinieerde condities. Een dubbelwandig rookgaskanaal wordt zelden toegepast bij stukhoutkachels. Hier is het enkel toepasbaar mits een 3-voudig systeem bestaande uit rookgaskanaal, isolatie en luchttoevoer. Bij pellettoestellen, combitoestellen en een houtgestookte ketel wordt er meestal gebruik gemaakt van een rookgasventilator (zie paragraaf 4.5.6) om de onderdruk in de vuurhaard te garanderen.

Primaire lucht wordt best niet voorverwarmd om te snelle verbranding te vermijden.

→ **Toepasbaarheid**

De techniek is algemeen toepasbaar.

→ **Milieuvoordeel**

Door een voorverwarming van de secundaire verbrandingslucht wordt een daling van de verbrandingstemperatuur vermeden. Het behoud van de verbrandingstemperatuur resulteert in een optimale verbranding en bijhorende verlaging van de emissies.

Een te grote afkoeling van de temperatuur van de rookgassen moet eveneens vermeden worden gezien dit een negatieve invloed heeft op de natuurlijke trek en op de verbrandingscondities (condensatie in de schouw). Het plaatsen van een rookgasventilator kan dit probleem verhelpen.

→ **Financiële aspecten**

Er zijn geen financiële gegevens gekend.

4.1.13. WARMTERECUPERATIESYSTEEM ROOKGASSEN

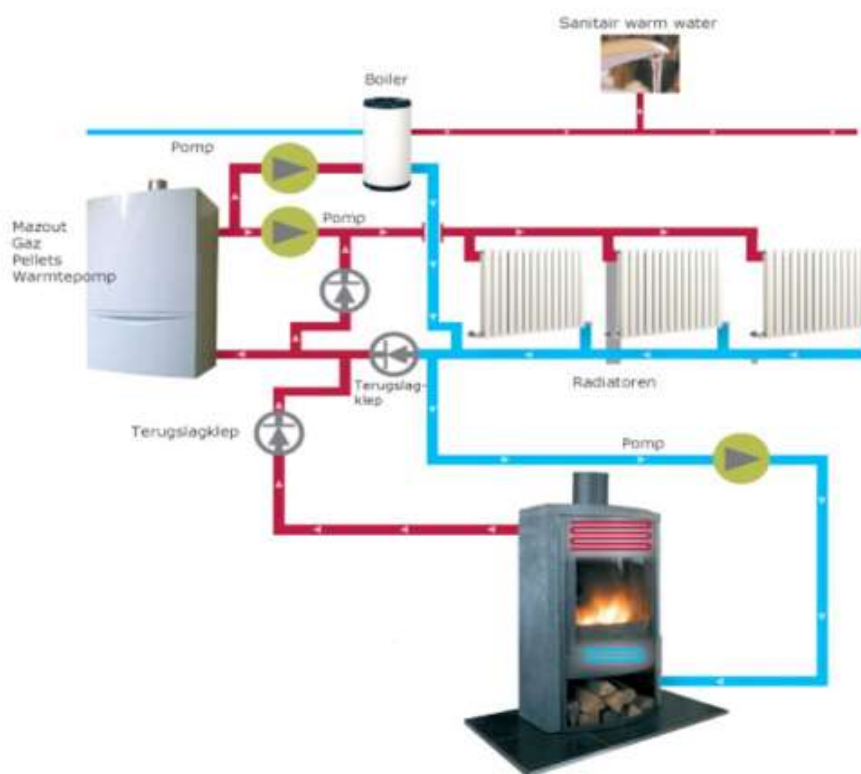
→ **Beschrijving**

Samen met de rookgassen verdwijnt ook een deel warmte. Deze warmte recupereren uit de rookgassen verhoogt de globale efficiëntie van het systeem. Enkele methodes om warmte te recupereren zijn:

- Dubbelwandig rookgaskanaal: zie paragraaf 4.1.12

- Condensorunit (enkel bij ketels): condenseren van de rookgassen en de warmte die hiermee vrijkomt recupereren met behulp van een warmtewisselaar en vervolgens deze warmte aanwenden voor het opwarmen van water in een boiler. Dit kan zowel ingebouwd of als aparte unit. Aanwezigheid van een extra warmtewisselaar voor het condenseren van vluchtige stoffen kan ook de emissies verder reduceren. Echter bevat houtrook ook potentieel zuurvormende componenten waaronder stikstof-, zwavel- en chloorverbindingen. Deze vormen bij condensatie van houtrook, in combinatie met gecondenseerde waterdamp, zuren in het condensaat welke bij zeer lage pH de metalen kunnen aantasten.

De verlaging van de temperatuur in het rookgaskanaal, kan bovendien resulteren in slechte trek met slechte verbranding tot gevolg. Een rookgasventilator (zie paragraaf 4.5.6) kan ingezet worden om de trek in het rookgaskanaal te optimaliseren.



Figuur 25: Voorbeeld van het aansluiten van de warme rookgassen op de centrale verwarming (retourleiding in het blauw is optioneel) (DDG, 2019)

→ Toepasbaarheid

- Dubbelwandig rookgaskanaal : dit wordt bij kachels beperkt toegepast.
- Condensorunit: rookgasventilator noodzakelijk: dit wordt standaard toegepast bij ketels

→ Milieuvoordeel

Door warmterecuperatie op basis van condensatie van de rookgassen kan het rendement verhoogd worden met 12 %. Bijkomend kan er een beperkte daling van de emissies zijn van fijn stof en VOS.

Een warmtewisselaar kan het rendement verhogen van 8 tot 28%, ook de reductie van fijn stof en VOS is aanzienlijk.

→ **Financiële aspecten**

Afhankelijk van de toegepaste methode is er een grotere meerkost. Een extra warmtewisselaar brengt een extra materiaalkost met zich mee.

4.1.14. AANBIEDEN VANTOESTELLEN IN VERSCHILLENDE VERMOGENSKLASSES – EN BEREIKEN

→ **Beschrijving**

Uit emissiemetingen (zie paragraaf 3.4.3) blijkt dat emissies tijdens deellast aanzienlijk hoger zijn dan bij nominale belasting van het toestel. Een toestel moet voldoende vermogen en bereik hebben om ook op de meest koude dagen van het jaar te voldoen aan de warmtevraag. In de praktijk zal er echter de meeste dagen van het jaar een lager vermogen nodig zijn dan het vereiste vermogen voor de koude dagen. Bijgevolg wordt er veel gestookt bij deellast. Om te vermijden dat toestellen bij te lage deellast gebruikt worden, is het van belang een toestel te gebruiken dat afgestemd is op de warmtevraag (zie paragraaf 4.6). Het juiste vermogen of de hoeveelheid geproduceerde warmte wordt mee bepaald door de grootte van de verbrandingskamer. Bij een te grote verbrandingskamer wordt meer warmte gegenereerd dan nodig. Vaak wordt hierbij de brandstoftoevoer of de luchttoevoer verlaagd om het vuur te verkleinen waardoor niet meer voldaan is aan de optimale verbrandingscondities en waardoor de emissies toenemen (zie H3 – emissies in de praktijk).

Fabrikanten kunnen hierop inspelen door enerzijds toestellen aan te bieden in verschillende vermogensklassen – en bereiken en anderzijds toestellen te ontwerpen die bij deellast ook voldoende rendement halen, waardoor klanten de mogelijkheid hebben om het juiste toestel te kiezen voor hun toepassing. In Duitsland en Oostenrijk is het vermogen van de standaard verkochte toestellen 6kW, in Vlaanderen bedraagt dit nog steeds 8-10 kW. In theorie is voor een doorsnee woonkamer 4 kW voldoende. Dit doet vermoeden dat Vlaamse kachels vaak in te lage deellast werken met hogere emissies tot gevolg.

De verkoper/installateur spelen vervolgens een belangrijke rol om de gebruiker het juiste toestel te adviseren.

Bij accumulatiekachels komt het mogelijks minder voor dat ze langdurig op deellast gestookt worden aangezien ze ontworpen zijn om een korte tijd op nominale belasting te werken met vrij hoge temperaturen en waarbij de warmte wordt opgeslagen en geleidelijk afgegeven zonder dat er tussenin bijgestookt moet worden.

Pelletkachels zijn op hun beurt moduleerbaar waardoor de verbranding steeds meer optimaal verloopt.

Bij een ketel kan de wisselende vraag naar warmte opgevangen worden door een warmtebuffer te plaatsen tussen de verbrandingsinstallatie en het afgiftecircuit om zo de continuïteit van het verbrandingsproces en het draaien bij nominale belasting te optimaliseren.

→ Toepasbaarheid

Er zijn geen technische beperkingen gekend om toestellen met verschillende vermogens aan te bieden hoewel bij een te kleine verbrandingskamer het moeilijker wordt om het design dermate aan te passen dat een optimale verbranding plaats vindt.

Het bepalen van het juiste vermogen is echter niet evident, aangezien dit afhankelijk is van meerdere factoren als de te verwarmen ruimte, de weersomstandigheden, de gebruiker,... Regeling van vermogen zou hierbij een oplossing kunnen zijn maar anderzijds verhoogt dit ook het risico op vaak gesmoord stoken.

Bij sfeerkachels mag het vermogen lager zijn aangezien de warmtevraag grotendeels door een andere verwarming wordt geleverd. Echter bij deze toestellen is vooral het visuele aspect belangrijk en wordt er vaak gekozen voor toestellen met een groot vuurzicht. Deze toestellen hebben mogelijks een hoger vermogen dan nodig.

In het kader van de behuizing wordt soms het verkeerdelijk advies gegeven om een model te kopen met een vermogen dat groter is dan nodig om te vermijden dat er langdurig aan hoge temperaturen gestookt wordt waardoor het staal kan vervormen of het gietijzer scheurtjes kan vertonen.

→ Milieuvoordeel

Door het vermijden van overdimensionering kan er meer aan nominale belasting gestookt worden waardoor er een betere verbranding plaats vindt en de emissies bijgevolg lager zijn. Echter het vermogen moet voldoende zijn om bij zeer lage temperatuur toch voldoende warmte te geven. In de praktijk is er meestal een veel lager vermogen nodig en zal er veel bij deellast gestookt worden. Daarom is het zeer belangrijk dat het toestel ook goed functioneert op deellast om de verhoging van de emissies te beperken.

→ Financiële aspecten

Kiezen voor een toestel met het juiste vermogen heeft geen relevante impact op de aankoopprijs. De aanschaf van een extra buffervat bij ketels betekent wel een meerprijs.

4.1.15. AUTOMATISCHE BRANDSTOFTOEVOER

→ Beschrijving

De brandstoftoevoer kan manueel of automatisch. Bij automatische toevoer wordt getracht steeds de juiste hoeveelheid brandstof toe te voegen op het juiste moment om de optimale verbrandingscondities te behouden. Het systeem van automatische brandstoftoevoer wordt voornamelijk toegepast bij pellets. Er moet echter een bijkomend onderscheid gemaakt worden tussen een automatische toevoer van pellets met regeling en zonder regeling. Systemen zonder regeling voegen de pellets toe op een constante snelheid, typisch met een archimedes schroef. Echter pellets kunnen verschillen in dikte, lengte en densiteit waardoor bij een constante afgestelde snelheid de pelletkachel soms teveel of soms te weinig brandstof krijgt en er hierdoor een slechte verbranding optreedt. In de systemen met regeling wordt de snelheid van deze schroef aangepast naargelang het vlammenbeeld waardoor steeds een optimale verbranding gerealiseerd wordt ongeacht de dikte, lengte en densiteit van de pellets.

Met betrekking tot de opslag wordt een onderscheid gemaakt tussen interne opslag waarbij deze dagelijks manueel aangevuld moet worden en externe opslag in een tank of silo waarbij een bijkomend transportsysteem vereist is.

Bij de verbranding van stookhout is het eveneens een optie om de brandstof automatisch toe te voegen maar dit vereist een volledig aangepast design.

Bijkomende is er een mogelijkheid om bijvoorbeeld een signaal te geven wanneer er bijgevuld moet worden. Veelal wordt dit toegepast bij ketels op hout waarbij er gestookt wordt op stookhout of houtsnippers.



Figuur 26: Pelletkachel met automatische toevoer van pellets met een intern opslagvat (Omniconfort, 2019)

→ Toepasbaarheid

Bij pelletgestookte toestellen wordt de automatische toevoer van brandstof standaard toegepast. Bij houtgestookte ketels is het eveneens mogelijk maar wordt dit enkel sporadisch toegepast. Hierbij is het belangrijk dat de houtblokken van een zelfde formaat zijn.

→ Milieuvoordeel

Een automatische toevoer van brandstof zorgt ervoor dat steeds de juiste hoeveelheid brandstof aanwezig is en op het juiste tijdstip wordt toegevoegd voor een optimaal verbrandingsproces. Dit resulteert in een daling van de emissies en een verhoging van het rendement.

→ Financiële aspecten

Er zijn geen financiële gegevens gekend.

4.1.16. GEAVANCEERDE CONTROLE VERBRANDINGSPROCES OP BASIS VAN DE KAMERTEMPERATUUR EN WEERSOMSTANDIGHEDEN

→ Beschrijving

Bij geavanceerde controle van het verbrandingsproces is er een bijkomende sturing van het vermogen en van de brandstof-luchttoevoerverhouding op basis van de kamertemperatuur en weersomstandigheden bij automatische ketels of pelletkachels. Op basis van de metingen wordt ofwel de toevoer van brandstof geregeld ofwel de opslag van de warmte via een tussenmedium als massa, water of PCM (Phase change material). Het voordeel van warmte opslag is dat het toestel steeds op nominaal vermogen kan werken. Opslag in PCM is echter moeilijk stuurbaar.

→ Toepasbaarheid

Er zijn geen technische beperkingen gekend. Het wordt echter slechts sporadisch toegepast gezien de extra investeringskost en anderzijds bij stookhouttoestellen de automatische sturing nog maar weinig toegepast wordt.

→ Milieuvoordeel

Het voordeel is vooral op vlak van gebruiksgemak en minder op vlak van impact op efficiëntie/rendement en emissies. Mogelijks is er wel een invloed op de globale energievraag omdat er minder hout nodig is gezien men niet meer verwarmt dan nodig.

→ Financiële aspecten

Dergelijke systemen zijn ongeveer 10% duurder dan installaties zonder deze sturing. Bij opslag via een tussenmedium is er bovendien de extra kost van het tussenmedium, eventuele behuizing en eventuele pompen.

4.2. ONTWERP VAN NIEUWE TOESTELLEN – SECUNDAIRE MAATREGELEN

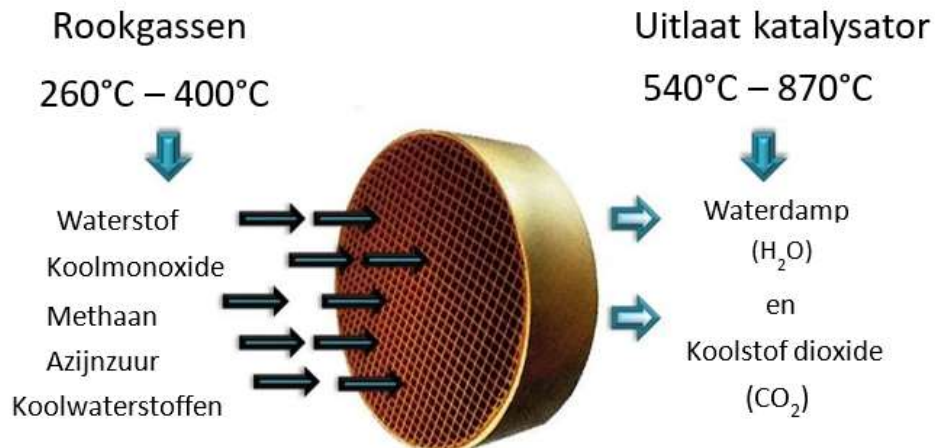
4.2.1. KATALYSATOR

→ Beschrijving

De meeste ongewenste of potentieel ongezonde en/of milieuschadelijke verbindingen in houtrook zijn het resultaat van onvolledige verbranding (zie paragraaf 3.1.2). Met behulp van een katalysator wordt de temperatuur voor verbranding van de verbindingen in de houtrook sterk verlaagd, waardoor de producten van onvolledige verbranding verder geoxideerd (verbrand) worden. De katalysator zal dus zorgen voor een 'schonere' verbranding.

Wanneer hete gassen door de katalysator gaan, treden er reacties op die lijken op verbranding, maar zonder vlammen. Het doel is om zoveel mogelijk verontreinigende stoffen om te zetten in koolstofdioxide en water. In het geval van een houtkachel- of ketel, geeft de katalysator ook warmte af door oxidatie van de rook, waardoor de verbrandingsefficiëntie verbetert en tegelijkertijd de vervuiling vermindert. (White Beam, 2015)

De basisstructuur van vaste katalysatoren kan bestaan uit metalen (meest voorkomende is ijzerlegering) of keramiek (bijvoorbeeld aluminiumoxide, zirkoniumoxide). De actieve metalen die verantwoordelijk zijn voor de katalytische reactie zijn meestal edelmetalen zoals platina (Pt), rhodium (Rh), en/of palladium (Pd) met volgende hoofdkenmerken (*Figuur 27*):



Figuur 27: Werking van een katalysator en omzetting van vervuilende stoffen (Cork, 2013)

Volgende activiteiten van de metalen kunnen worden waargenomen:

- Rh > Pd > Pt --> oxidatie van CO
- Pt > Rh > Pd --> oxidatie van VOS
- Rh > Pd > Pt --> reductie van NO

Indien de rookgassen zeer hoge temperaturen kunnen halen, kunnen niet edelmetalen zoals nikkel (Ni), koper (Cu), en magnesium (Mg) gelijkaardige conversiepercentages behalen. (Mack R. , et al., 2017))

Een aantal verdelers van **keramische katalysatoren** voor houtverbranding zijn o.a. Bullerjan (type Chimcat), voornamelijk actief in Europa; en Firecat (zoals de Combustor ACI-68C of Combustor ACI-2C), vooral actief in de VS.

Een aantal verdelers van **metalen katalysatoren** zijn Condar (type SteelCat), voornamelijk actief in de VS); en Ecolink (type PALCAT en ABCAT), voornamelijk actief in Europa en Vlaanderen.

→ Toepasbaarheid

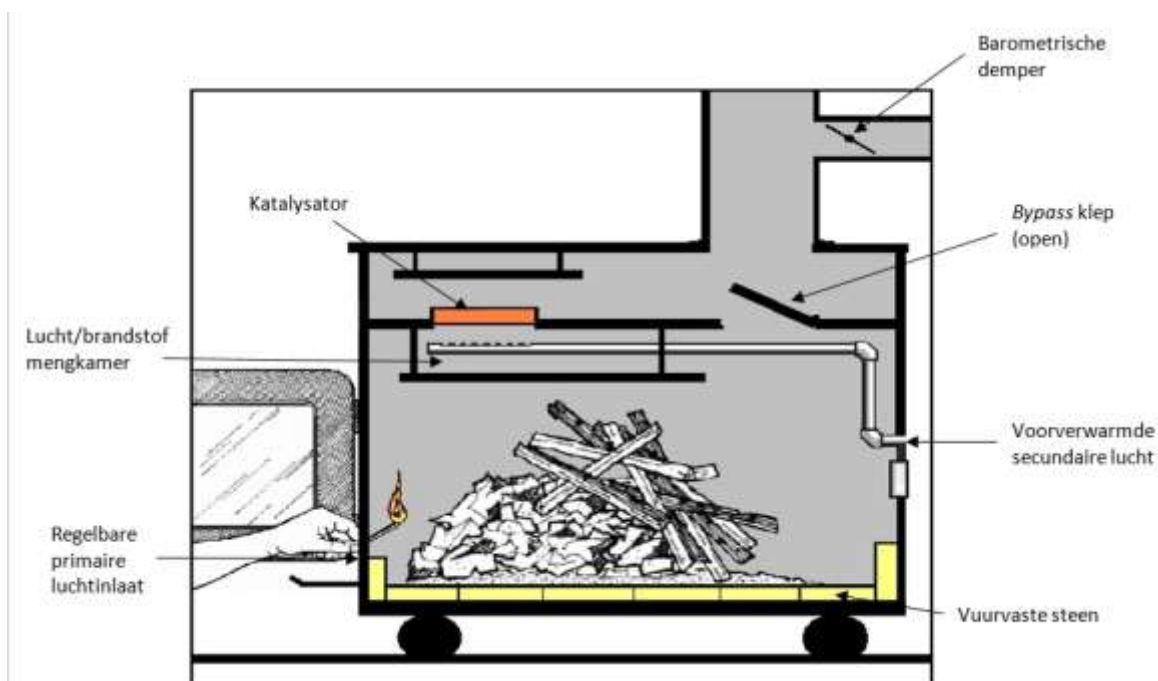
Katalysatoren hebben vooral de functie om de emissies- bij een goed geïnstalleerde en correct werkende kachel, én een correct stookgedrag van de gebruiker- verder te verminderen. De optimale verbranding als startpunt zal tevens bijdragen aan een langzamere degradatie en een langere levensduur van de katalysator.

Temperatuurgrenzen en bypass:

De reacties die de katalysator bevorderen (zie ook *Figuur 27*), zijn temperatuurafhankelijk. Als de rookgastemperatuur een bepaalde drempel overschrijdt, begint de katalysator te werken en wordt deze warmer dan het rookgas dat er binnenkomt. Dit staat bekend als de activatie- of *light-off* – temperatuur en treedt meestal op tussen 250°C-300°C voor CO-reductie, terwijl reductie van koolwaterstoffen meestal vanaf 150°C begint voor cyclische verbindingen. Wanneer het rookgas onder de *light-off*-temperatuur is, zal de katalysator niets doen. Verschillende factoren dragen bij tot

een goede verbranding en zullen zorgen voor een voldoende hoge verbrandingstemperatuur boven de *light-off* temperatuur.

Voor **keramische katalysatoren** is een té lage temperatuur nadelig omdat sommige oliën en teer in het verbrandingsgas (bijvoorbeeld creosoot) op de katalysator zullen worden afgezet, wat de reinigingsfrequentie van de katalysator significant zal verhogen. Daarom zijn de meeste verbrandingstoestellen met geïntegreerde katalysator uitgerust met een bypass gekoppeld aan een thermometer. Bij rookgastemperaturen lager dan de *light-off* staat de bypass klep in een open positie en zullen de rookgassen rechtstreeks naar het rookgaskanaal circuleren zonder door de katalysator te gaan. Bij rookgastemperaturen hoger dan de *light-off*, sluit de bypass klep en treedt de katalysator in werking (zie ook Figuur 28) (White Beam, 2015). Een **metalen katalysator** heeft dit probleem minder, omdat door de hoge geleidbaarheid van de metalen structuur binnenin een zelfreinigend proces op gang komt waardoor de aromatische verbindingen uit teer verbrand worden. Een bypass installeren gekoppeld aan een thermometer is voor deze uitvoering dus niet noodzakelijk, en vaak is een manuele bypass mogelijkheid al voldoende.



Figuur 28: Keramische katalytische houtverbranding met bypass (Firecat, 2019)

De bovenste temperatuurgrens van de katalysator wordt bepaald door de structurele en chemische limiet voor het dragermateriaal (indien aanwezig), de washcoat (drager van het actief materiaal en gebruikt om het materiaal over een groot oppervlak te verspreiden) en actief materiaal, en het productieproces. De keuze van katalysator zal dus de werkingstemperatuur bepalen. Vaak ligt deze bovengrens boven de 500°C en zal dit bij standaard stookinstallaties geen probleem vormen. De hoge activatietemperaturen beperken de toepasbaarheid tot rookgassen die de *light-off* temperatuur behalen net boven de verbrandingskamer (Mack R., et al., 2017)

Locatie en installatie:

Het doel is om voor een snelle opwarming te zorgen en boven de activatietemperatuur te blijven, maar tegelijk ook om de maximale temperatuur niet te overschrijden ($>500^{\circ}\text{C}$). Daarnaast moet de

katalysator makkelijk toegankelijk blijven voor de gebruiker voor de verwijdering, reiniging, en vervanging. De locatie moet, indien mogelijk, gekozen worden zodat het grootste deel van de warmte die door de katalysator vrijkomt nog maximaal benut kan worden, en niet in het rookgaskanaal verdwijnt. (White Beam, 2015)

Keramische katalysator: Een beperking van de keramische katalysator is de reductie in natuurlijke luchtstroming en een hoge drukval (zie milieuvoordeel en cross media effecten). Dit kan verholpen worden door de dwarsdoorsnede van het rookgasafvoerkanaal te verhogen om de drukval te verlagen, terwijl het verwijderingsrendement behouden wordt. Als de stromingsweerstand nog steeds te hoog blijkt te zijn en het toestel onvoldoende natuurlijke trek heeft, dan kan de plaatsing van een rookgasventilator (zie paragraaf 4.5.6) een oplossing bieden. (Mack R. , et al., 2017)

Metalen katalysator: Een metalen katalysator veroorzaakt minder drukval door zijn constructie, en dit wordt ook bevestigd door verschillende drukval metingen (Leveranciersinformatie katalysator, 2019).

Onderhoud:

Het onderhoud en de reiniging van de schouw kan moeilijker zijn dan bij standaard verbrandingstoestellen omdat de katalysator verwijderd moet worden tijdens het reinigen en in sommige gevallen -zoals bij keramische katalysatoren -kwetsbaar is. (Pacific Energy, 2016) De katalysator zelf wordt manueel door de gebruiker verwijderd en met water gereinigd of uitgeklopt. VITO bevroeg een vijftal katalysator gebruikers en daaruit blijkt dat het manueel reinigen vaak op vaste tijdstippen gebeurt, gaande van 1x/dag tot 1x/week tijdens de stookperiodes. De katalysator heeft geen sensor die de gebruiker waarschuwt dat het toestel proper gemaakt moet worden. De correcte werking van de katalysator ligt volledig in handen van het gezond verstand (en de goede wil) van de gebruiker.

Levensduur:

Keramische katalysatoren zijn onderhevig aan schade door fysiek contact, thermische schokken en verstoppingen door een slecht ingestelde bypass of vochtig hout. De katalytische honingraat breekt geleidelijk aan af en moet na verloop van tijd worden vervangen.

Metalen katalysatoren zijn iets robuuster, omdat deze volledig uit metaal zijn vervaardigd en het edelmetaal middels galvanotechniek is aangebracht. Hierdoor zijn ze beter bestand tegen snelle temperatuurswisselingen, agressieve stoffen, en zijn ze minder kwetsbaar tijdens het reinigen.

Globaal gezien is de levensduur van een katalysator bij normaal gebruik geschat op 5-10 jaar.

In slechte omstandigheden, zoals bij het stoken van vochtig of slecht hout (zoals harshoudend naaldhout) en zonder adequaat onderhoud, zullen de poriën van de katalysator gaan verstopen, en kan het toestel al na enkele jaren tot zelfs enkele maanden zijn werking verliezen. Extra aandacht moet dus worden besteed aan het verbranden van de juiste brandstof en een regelmatig onderhoud.

In Vlaanderen zijn er volgens de leverancier van katalysatoren zo'n honderdtal verbrandingstoestellen met geïntegreerde katalysator in omloop.

Randvoorwaarden toepasbaarheid:

Een aantal randvoorwaarden waarbij een katalysator toepasbaar is zijn de volgende:

- Temperatuurpieken van minimaal 300°C

- Optimale werkingstemperatuur van > 350°C
- Maximale temperatuur van 700°C
- Voldoende verbrandingslucht voorzien: onderdruk (trek) van de schoorsteen moet minimaal 15 Pa zijn (zie ook paragrafen 1.1.1, 4.1.9, en 4.1.11 over het optimaliseren van de luchttoevoer)
- Katalysator moet bereikbaar blijven voor bediening en onderhoud
- Gebruik van geschikt (en voldoende) droog hout (zie ook paragrafen 4.6.1 en 4.6.3 over het volgen van stooktips en instructies fabrikant)
- Verbrandingsruimtes moeten gesloten zijn (geen open haarden)

→ Milieuvoordeel

De integratie van katalysatoren in huishoudelijke houtverbrandingstoestellen kan een efficiënte secundaire maatregel zijn om de uitstoot van houtverbranding te verminderen, en de mogelijke geurhinder te verhelpen. De hoogste uitstoot reductie wordt meestal bereikt voor koolmonoxide. Ook de reductie van koolwaterstoffen en onverbrande organische deeltjes is mogelijk. Tenslotte werkt de katalysator ook als een soort filter waarmee een deel van het fijn stof (vliegast) wordt tegengehouden. De katalysator zal het beste werken bij een nominaal verbrandingsregime.

- Keramische katalysatoren:

In het onderzoeksproject Woodstoves2020, gericht op de ontwikkeling van innovatieve maatregelen en technologieën om de uitstoot van houtverbranding verder te verminderen, werden drie keramische katalysatoren (EnviCat 2520, en twee op maat gemaakt) op verschillende plaatsen in een kachel geïntegreerd en geëvalueerd. Hieruit bleek dat katalysatoren die aan de uitlaat van de verbrandingskamer zijn gemonteerd emissie reducties tonen van gemiddeld 70% voor CO, en 32% voor *Organic Gaseous Carbon* (OGC)⁵. De emissiereductie-efficiëntie nam echter af naarmate de testperiode (100 uur) vorderde, tot 70% van de initiële verwijderingsrendementen. De reiniging van de katalysator had bovendien geen positief effect op de reductie-efficiëntie. Dit komt door deactivatie van de katalysator door aerosolafzettingen (condensatie), voornamelijk K₂SO₄ en KCl die de actieve centra van de katalysatoren gedeeltelijk hebben geblokkeerd. Handmatige reiniging bood geen oplossing en in dit geval moest de katalysator vervangen worden. (Mack R. , et al., 2017)

- Metalen katalysatoren:

Uit verschillende testen werden volgende emissie reducties behaald bij metalen katalysatoren:

- 66% reductie van fijnstof emissie (PM_{2,5}) (DBFZ (2018); labo omstandigheden; initiële concentratie 101 mg/m³).
- 75% reductie van PAK's: (bron (Leveranciersinformatie katalysator, 2019) (feedback document, maximale waarden die in verschillende labo testen zijn behaald; initiële concentratie 2.538 µg/g.)
- 66% reductie van CO: Afkomstig van "testresultaten SP Technical Research Institute of Sweden (november 2016)". Test werd uitgevoerd met ca. 1,4 liter Pd-katalysator welke het rookgaskanaal volledig afsloot (alle rook door de katalysator). De duur van de test omvatte 4 verbrandingscycli (ca. 5 uur). Gemiddelde CO-concentratie voor de katalysator 3500 ppm.

⁵ De initiële concentraties gelinkt aan deze verwijderingsrendementen zijn niet bekend. Het type hout dat gebruikt werd omvatte beuk of berk, zonder schors, met een driehoekige vorm. Voor de overige testcondities verwijzen we naar paragraaf 4.1 van het finale rapport Woodstoves2020.

- 10%-50% reductie koolwaterstoffen: De reductie koolwaterstoffen bedroeg ca. 10% bij een test over 4 verbrandingscycli (testresultaten *SP Technical Research Institute of Sweden* (november 2016), en 50% volgens een korte duur test van het DBFZ. (DBFZ, 2018).

Om een zicht te krijgen op de werkelijke efficiëntie van een katalysator moet het gemiddelde verwijderingsrendement berekend worden op de hele duur van de stook en over langere periodes (bij voorkeur tijdens een volledig stookseizoen). Het gemiddelde verwijderingsrendement van de emissies zal lager liggen dan de gerapporteerde cijfers in laboratorium omstandigheden omdat de vervuiling het sterkst is bij de start en op het einde van de verbranding, en de katalysator niet functioneert onder de activatietemperatuur. Cijfers van gemiddelde verwijderingsrendementen over één of meerdere verbrandingscycli zijn enkel bekend voor de verwijdering van CO (66%) en van koolwaterstoffen (10%). Hoge CO- en methaan concentraties veroorzaken een zogenaamde “blocking” voor koolwaterstoffen. Hoge concentraties aan verontreinigingen in houtrook vereisen meer katalysatorvolume met een hoger drukverlies tot gevolg welke door een hogere schoorsteen of geforceerde onderdruk met een rookgasventilator gecompenseerd moet worden. Daarom is een katalysator, ongeacht het type, effectiever voor PAK's naarmate de kachel over het gehele spectrum een lage emissie heeft. Langetermijn reducties gedurende een volledig stookseizoen zijn nog niet beschikbaar.

Daarenboven is ook de gebruiker zelf een belangrijke factor in het behouden van de verwijderingsrendementen en de goede werking van het toestel. In tegenstelling tot elektrofilters, wordt de gebruiker niet gewaarschuwd wanneer de katalysator vuil of verstopt is en niet meer optimaal werkt. Ook zal de gebruiker de katalysator manueel en op reguliere tijdstippen moeten reinigen en gebeurt dit niet automatisch. Het gedrag van de gebruiker speelt bij de efficiëntie van deze maatregel dus een cruciale rol.

Cross media effecten:

Verbranding: De katalysator kan de stromingsweerstand verhogen met een onvoldoende luchtstroom tot gevolg (hoge drukvallen en trekprobleem in de schouw), wat leidt tot een slechte verbranding met hogere emissies. Onvoldoende trek in de schouw verhoogt de kans op mogelijks gevaarlijke rookgassen die terugstromen in de kamer. (Mack R. , et al., 2017) De plaatsing van een rookgasventilator (zie paragraaf 4.5.6) kan hiervoor een oplossing bieden. Tijdens de bevraging van een vijftal gebruikers over hun ervaring met een metalen katalysator werd gevraagd naar eventuele hinder bij het gebruik van de katalysator. Hier bleek dat trekproblemen veroorzaakt door de metalen katalysator amper voorvallen bij een goed onderhoud en reiniging van het toestel.

Materialengebruik: Doordat de katalysator gemaakt is met edelmetalen, stijgt het gebruik en de verwerking van edelmetalen zoals Platina (Pt), Rhodium (Rh), en Palladium (Pd).

Afval(water) productie:

Tijdens het reinigen van de katalysator moet er zorgvuldig omgegaan worden met de reststoffen, en vermeden worden dat ze alsnog in de lucht terecht komen. Het reinigen van de katalysator gebeurt met water onder een kraan en heeft afvalwater productie tot gevolg. De samenstelling van het restproduct bestaat doorgaans uit kleine hoeveelheden vaste stof deeltjes waaronder:

- minerale bestanddelen van het hout zoals bv. Calciumoxide
- hout vreemde delen die hieraan gehecht waren zoals zand en aarde
- zouten zoals sulfaten, chloride, carbonaten, (hydr)oxiden, nitraten, en ionische verbindingen;
- metaal- en aluminiumoxide

Vorming van gevaarlijke stoffen:

Het gebruik van een katalysator met Platinium (Pt) en Palladium (Pd) kan de concentraties aan chloorfenol en dioxines (*Polychlorinated dibenzo-p-dioxins and polychlorinated dibenzofurans* - PCDD/F) verhogen. Een studie uit Finland (Kaivosoja, et al., 2012) gaf verhogingen van een factor 4,3 en 8,7 voor chlorofenol en dioxines, respectievelijk. De reden hiervoor is het katalytisch effect van Pt en Pd op de vorming van deze gevaarlijke stoffen. Deze test werd uitgevoerd op een slecht werkende saunakachel; het is dus onduidelijk of de vorming van gevaarlijke stoffen een risico is bij goed werkende verbrandingstoestellen.

→ Financiële aspecten

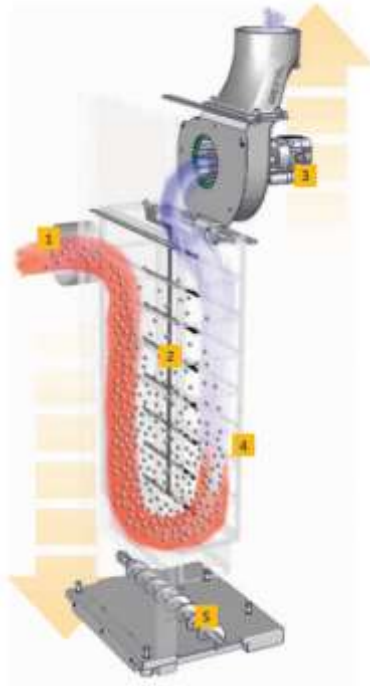
De meerprijs voor een kachel met geïntegreerde metalen katalysator ligt ordegrrootte bij de 500 euro (prijs van de kachel zonder katalysator 3.270 euro, met katalysator 3.770 euro incl. BTW) (Leveranciersinformatie katalysator, 2019), geïntegreerd in Altech kachel)

De meerprijs voor een kachel met geïntegreerde keramische katalysator ligt ordegrrootte bij de 300 euro (Bullerjan, 2019)

4.2.2. ELEKTROFILTER

→ Beschrijving

Voor het algemeen werkingsprincipe van een elektrofilter (ESP – *Electrostatic Precipitator*) verwijzen we naar paragraaf 4.4.1. Alhoewel ESP's voornamelijk toegepast worden als retrofit maatregel bij bestaande toestellen, worden ESP's in bepaalde gevallen ook geïntegreerd in nieuwe verbrandingstoestellen, voornamelijk bij pelletketels. Figuur 29 geeft de werking weer van een geïntegreerde ESP bij een pelletketel:



Figuur 29: Werkingsprincipe van een geïntegreerde ESP in een pelletketel (ETA Heiztechnik GmbH, 2019)

- 1) Rookgasinlaat: Door de onderdruk in de deeltjesscheider worden de uitlaatgassen van de ketel aangezogen.
- 2) Elektrode: De elektrode laadt de stofdeeltjes statisch op
- 3) Ventilator met aangezogen lucht: de aanzuigventilator op de ketel is bevestigd aan de afscheider. Het hele ketelsysteem werkt met één ventilator in onderdruk.
- 4) Reinigingstrommel: de statisch geladen stofdeeltjes zakken op de wanden van de afscheider en worden op gecontroleerde wijze naar beneden getransporteerd
- 5) Asschroef: Scheiding van het afgescheiden stof en de vlieggas in een aslade, waar het wordt samengeperst.

Bij geïntegreerde ESP's bij nieuwe toestellen gebeurt de reiniging volautomatisch. Dit gebeurt door middel van een asverwijderingssysteem, waarbij de gehele ketel (de verbrandingskamer, de warmtewisselaar en de deeltjesafscheider) volledig automatisch worden gereinigd met één aandrijving. (ETA Heiztechnik GmbH, 2019)

→ Toepasbaarheid

Voor algemene beperkingen inzake toepasbaarheid verwijzen we naar paragraaf 4.4.1. Geïntegreerde ESP's worden voornamelijk toegepast bij pelletketels. Enkele modellen op de huidige markt zijn de PelletsCompact ETA PC (ETA Heiztechnik GmbH, 2019) en Fröling-biomassaketels (Fröling, 2019). Voor andere types toestellen werden geen toepassingen teruggevonden.

→ Milieuvoordeel

Voor de algemene beschrijving van het milieuvoordeel en cross media aspecten verwijzen we naar paragraaf 4.4.1.

De distributeur van geïntegreerde ESP's bij pelletketels verwacht een reductie van 85% fijn stof over een lange gebruiksduur (Elmar Deutsch (ETA), persoonlijke communicatie, 2019). De ETA HACK (zonder ESP) en ETA eHACK (met ESP) zijn opgenomen in de lijst van toestellen voor vaste brandstoffen (zie ook paragraaf 2.3.2). Het verschil tussen de fijn stof uitstoot van een pelletketel zonder ESP en dezelfde pelletketel met ESP varieert tussen 0-30%⁶.

Specifieke cijfers over het energiegebruik werden niet gevonden. Deze worden verwacht analoog te zijn aan de ESP geïnstalleerd als retrofit (zie paragraaf 4.4.1).

→ Financiële aspecten

De investeringskost van een ketel met geïntegreerde ESP situeert zich rond ca. 13.000 euro voor een 20 kW tot 30.000 euro voor een 130 kW voor het ETA model. Zonder geïntegreerde ESP is de prijs ca. 2.000 euro goedkoper voor hetzelfde toestel. (Gebäude- & Umwelttechnik24, 2019).

De werkingskosten zijn analoog aan een ESP geïnstalleerd als retrofit (zie paragraaf 4.4.1), alleen is er geen kost voor het manueel reinigen van het toestel. Rookgasventilatoren kunnen gestuurd worden door middel van een temperatuursonde of in functie van het proces.

4.3. BESTAANDE TOESTELLEN – PRIMAIRE MAATREGELEN

De meeste primaire maatregelen kunnen niet zondermeer toegepast worden als retrofitmaatregel in bestaande toestellen die hier nog niet over beschikken omwille van technische beperkingen. Bovendien zijn bepaalde maatregelen enkel nuttig in de juiste configuratie, bijvoorbeeld externe luchttoevoer is enkel nuttig bij luchtdichte toestellen, secundaire luchttoevoer vereist een tweede verbrandingszone of verbrandingskamer;...

De technieken waarvoor een retrofit mogelijk is zijn:

- Warmterecuperatie rookgassen (met aandacht voor (behoud) voldoende trek in de schouw)
- Warmteopslag (bv extra massa of boiler)
- Geforceerde trek voor voldoende luchttoevoer

Voor deze technieken gelden dezelfde voorwaarden als bij nieuwe toestellen.

⁶ Deze emissie resultaten werden bekomen onder testcondities en tijdens nominale belasting, en afkomstig van de lijst van toestellen met vaste brandstoffen (<https://www.health.belgium.be/nl/e-services/lijs-t-van-verwarmingstoestellen>)

4.4. BESTAANDE TOESTELLEN – SECUNDAIRE MAATREGELEN

4.4.1. KATALYSATOR

→ Beschrijving

De katalysator kan als retrofit geïnstalleerd worden in een bestaand toestel in de kachelpijp. Voor de algemene werking van een katalysator verwijzen we naar paragraaf 4.2.1.

In Vlaanderen biedt Ecolink de ABCAT (After Burning CATalyst) aan, dewelke ingebouwd wordt als retrofit in de rookgasafvoer van een bestaande kachel.

→ Toepasbaarheid

Voor de algemene toepasbaarheid verwijzen we naar paragraaf 4.2.1.

De toepasbaarheid van een katalysator in de kachelpijp heeft enkele bijkomende beperkingen:

- De activatietemperatuur kan minder snel bereikt worden in vergelijking met de installatie in de verbrandingskamer: vereiste temperatuurpieken van minimaal 300°C. De katalysator wordt dus best zo dicht mogelijk na de verbrandingskamer geplaatst, waar de rookgassen niet te sterk zijn afgekoeld.
- Een katalysator wordt best ingezet na het toepassen van de primaire maatregelen om tot een optimale verbranding te komen. Voor oude toestellen kan de levensduur van de katalysator korter zijn omwille van beschadiging door een te hoge concentratie aan vervuilende stoffen. (Mack R. , et al., 2017)

De retrofit ABCAT, afgebeeld op Figuur 30, is reeds een aantal jaren op de markt, en hiervan zijn een honderden reeds bij huishoudelijke stookinstallaties in gebruik. Er bestaan verschillende katalysator diameters en lengtes die afgestemd zijn op het vermogen van de kachel (5 kW tot 15 kW).



Figuur 30: ABCAT katalysator ingebouwd als retrofit (Leveranciersinformatie katalysator, 2019)

→ Milieuvoordeel

Voor de algemene milieuvoordelen en cross media effecten van een katalysator verwijzen we naar paragraaf 4.2.1. Volgens het grootschalig onderzoek Woodstoves2020 gaf de installatie van een retrofit keramische katalysator aan de uitlaat van de naverbrandingskamer onstabiele reducties, met

een sterke daling van het verwijderingsrendement na verloop van tijd. De afnemende efficiëntie van de reductie wordt hoogstwaarschijnlijk veroorzaakt door de deactivatie van de katalysator. (Mack R. , et al., 2017).

Tijdens de bevraging van een vijftal metalen katalysator gebruikers werd onder meer gevraagd naar de aanleiding voor het laten plaatsen van een katalysator in hun kachel. Deze kwam er voornamelijk na klachten van buurtbewoners over de geurhinder. De klachten stopten dan ook na de plaatsing van de katalysator.

Volgens een test van de verdeler van metalen retrofit katalysatoren kunnen onderstaande resultaten behaald worden met de ABCAT katalysator als retrofit⁷:

Tabel 24: resultaten katalysator als retrofit (Leveranciersinformatie katalysator, 2019)

Emissie parameter concentratie	Zonder katalysator	ABCAT Met katalysator	Vershil
CO (mg/m ³)	875	375	-57%
Fijn stof (mg/m ³)	39	14	-64%
NOx (mg/m ³)	123	142	+14%
OGC (mg/m ³)	104	51	-51%
PAK's (ug/g)	2.538	624,7	-75%

Langetermijn metingen, alsook metingen op de volledige verbrandingscyclus, geven wellicht een beter zicht op de effectieve efficiëntie van deze maatregelen, maar zijn op dit moment (nog) niet beschikbaar.

Voor oude, vervuilende toestellen moet in elk geval een afweging gebeuren tussen de aankoop van een nieuw performanter toestel (met niet alleen lagere emissies, maar ook een hogere energie-efficiëntie) en het plaatsen van een katalysator.

→ Financiële aspecten

Metalen katalysatoren zijn beschikbaar vanaf €370, exclusief installatie. De installatie betreft het vervangen van het eerste segment kachelpijp na de kachel (Leveranciersinformatie katalysator, 2019)

Keramische katalysatoren zijn beschikbaar vanaf €700 exclusief installatie (Chimcat, 2019).

Bij heel hoge temperaturen zijn niet edelmetalen (zoals Ni, Cu, en Mg) ook geschikt als katalysator. Door de lagere temperatuur bij een constructie op de schouw is enkel het gebruik van edelmetalen (Pt, Rh, en/of Pd) mogelijk (lagere activatietemperatuur) waardoor de kosten hoger kunnen liggen tov geïntegreerde katalysatoren. (Mack R. , et al., 2017)

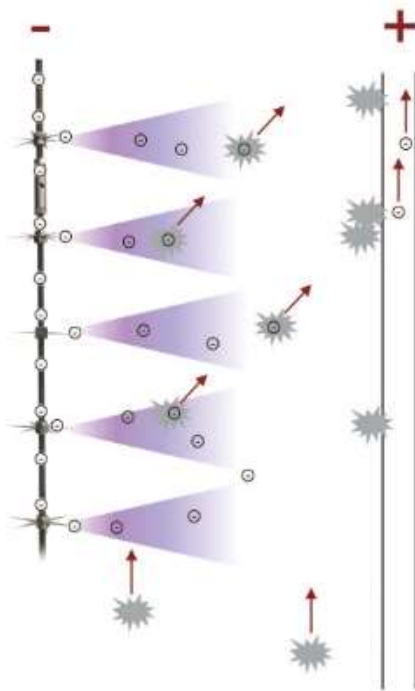
⁷ Deze testen werden uitgevoerd in laboratorium omstandigheden op een houtkachel. De duur van deze test is onbekend.

4.4.2. ELEKTROFILTER**→ Beschrijving**

Een elektrofilter, ook wel elektrostatische filter (afgekort ESP – Electrostatic Precipitator) genoemd, kan toegepast worden als een secundaire end of pipe maatregel om de uitstoot afkomstig van houtverbranding te reduceren. Met een ESP kunnen vaste deeltjes, dat wil zeggen roet en organisch - en mineraal fijn stof (inclusief (primaire) organische aerosolen), uit rookgassen worden afgescheiden door deze een elektrostatische lading te geven voordat de rook het rookgaskanaal verlaat.

In het rookgaskanaal wordt een elektrode geplaatst in de vorm van een metalen draad of een bolletje. Hierop wordt een gelijkspanning van enkele tientallen kilovolts aangebracht d.m.v. een hoogspanningsgenerator. Rondom de elektrode ontstaat een sterk elektrisch geladen veld (corona). Het fijn stof dat bij de verbranding ontstaat en in dit veld terecht komt, wordt negatief geladen en beweegt naar de positief geladen metalen kachelpijp of rookgaskanaalwand die fungeert als tweede elektrode. Het werkingsprincipe wordt in onderstaande Figuur 31 schematisch weergegeven:

- a) Fijn stof partikels stromen mee met het hete rookgas
- b) Een hoogspanningselektrode geeft elektroden vrij
- c) De elektronen worden naar de wanden van het rookgaskanaal getrokken. Fijnstof partikels zijn elektrisch geladen en worden ook aangetrokken door de wanden van het rookgaskanaal of de schoorsteen
- d) De fijne stofdeeltjes verzamelen zich op de binnenwanden en vormen grotere vlokken. Deze afzetting wordt vervolgens verwijderd (dit kan manueel of automatisch)

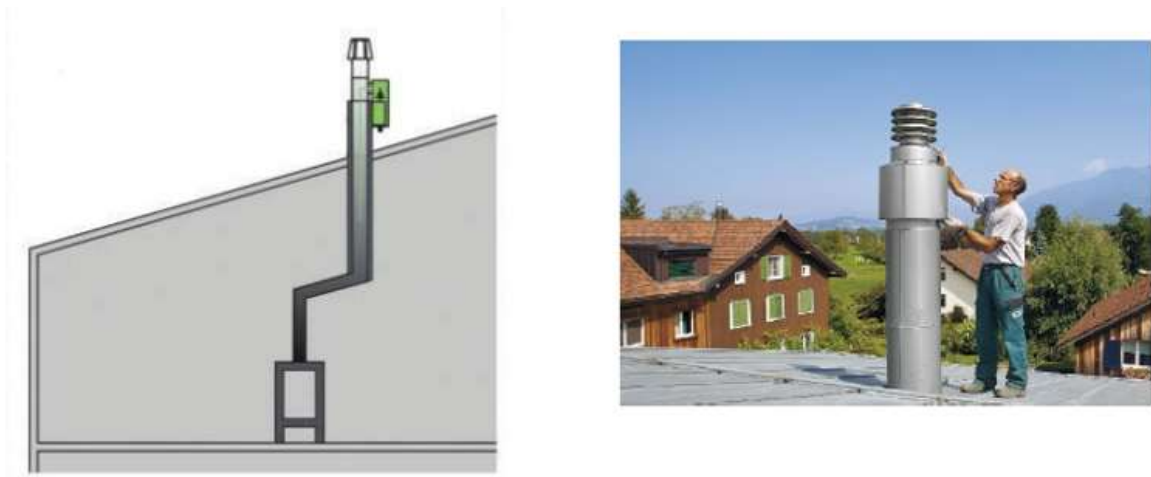


Figuur 31: Werkingsprincipe van een ESP (Leveranciersinformatie elektrofilter, 2019)

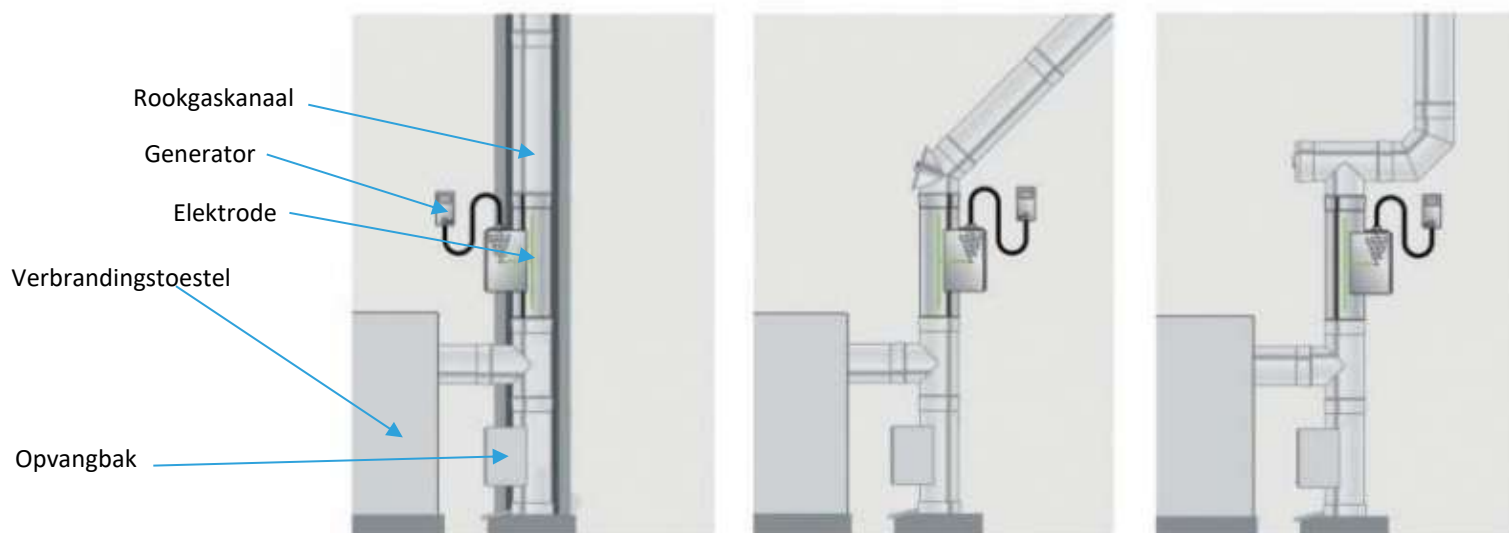
Belangrijk voor de correcte werking van de ESP is dat de elektrode zelf vrij blijft van stof, dit om twee redenen. Ten eerste om te voorkomen dat de sterkte van het elektrisch veld verminderd wordt (hoe meer stof aan de elektrode, hoe zwakker het elektrisch veld en dus hoe lager het verwijderingsrendement). Ten tweede kan stof op de elektrode een spanningsbrug doen ontstaan met vonkoverslag tot gevolg (zie ook paragraaf milieuvoordeel)

De migratiesnelheden van deeltjes in de ESP nemen toe naarmate de spanning op de elektrode verhoogt. In de praktijk wordt de veldsterkte beperkt door vonken. Bij hoge veldsterkten kan een geïoniseerd pad (elektrische boog) tussen de elektrode en de kachelpijp of rookgaskanaalwand ontstaan. Om overbelasting van de transformator te voorkomen en om de elektrische potentiaal te herstellen, moeten dergelijke elektrische bogen worden gedoofd. Dit wordt gedetecteerd door het regelsysteem van de ESP en zal de spanning doen dalen door de stroom voor een moment uit te schakelen. Nadat de elektrische boog is gedoofd, zal de spanning tussen de elektroden hersteld worden. De frequentie van vonkoverslag neemt toe met de elektrische veldsterkte. Bij vonkoverslag gaat de veldsterkte tijdelijk verloren en kunnen vonken het stof losmaken van de verzameloppervlakken, waardoor de efficiëntie van het verzamelen wordt verminderd. Dat wil zeggen dat het verwijderingsrendement van een ESP verhoogt bij hogere spanning tussen elektroden totdat de frequentie van vonken te hoog wordt. Het regelsysteem van een ESP kan een vooraf ingestelde waarde van de gewenste vonken per minuut gebruiken bij het regelen van de spanning.

Een ESP die als retrofit maatregel wordt toegepast heeft twee varianten: op de schouwmond (Figuur 32) of direct in het rookgaskanaal kort na het toestel (Figuur 33). De montage in het rookgaskanaal kan op twee manieren: door het maken van een gat in de buis waar vervolgens de ESP in wordt geplaatst en vastgemaakt met een dichtingsring en spanband, of met een T-stuk waarin de ESP geïntegreerd is. In Vlaanderen wordt de ESP o.a. aangeboden door Polvo (model Oekotube) en Dutry (Kutzner + Weber model Airjekt).



Figuur 32: Weergave van een ESP gemonteerd op de monding van de schouw (Leveranciersinformatie elektrofilter, 2019)



Figuur 33: ESP gemonteerd in het rookgaskanaal (3 varianten) (Leveranciersinformatie elektrofilter, 2019)

Voor het onderhoud van ESP systemen vinden we toestellen met automatische reiniging en manuele reiniging.

Het **automatisch reinigen** gebeurt in twee stappen: eerst moet het geaccumuleerde fijn stof op de wanden van het rookgaskanaal of de schoorsteen losgemaakt worden, daarna moet het losgemaakte fijn stof uit het toestel verwijderd worden. Het losmaken van het fijn stof kan op drie manieren, meer bepaald d.m.v.:

- een ingebouwde borstel
- een magnetische vibrator gekoppeld aan veren van de binnenwand
- water injectie in het rookgaskanaal (na meting van een bepaalde drukval)

Het fijn stof (of slurry in geval van water injectie) valt vervolgens in een opvangbak die de gebruiker manueel moet ledigen. De reststoffen moeten als afvalstoffen worden afgevoerd. In sommige gevallen moet de automatische reiniging wel manueel geïnitieerd worden. (Obernberg & Mandl, 2011)

Bij **manueel te reinigen** ESP systemen moet het fijn stof dat tegen de binnenwand van de schoorsteen of het rookgaskanaal wordt vastgehouden regelmatig door schoorsteenvegers verwijderd worden. Moderne ESP toestellen meten continue de afstand tussen elektrode en schouw wand, en geven d.m.v. signalen aan wanneer onderhoud nodig is. De reinigingsfrequentie en onderhoud zijn sterk afhankelijk van type kachel, de asrest van de brandstof, het stookgedrag en de stookfrequentie. In het algemeen wordt geschat op één tot twee keer per jaar. (Obernberg & Mandl, 2011), (Leveranciersinformatie elektrofilter, 2019)

→ Toepasbaarheid

Algemeen geldende beperkingen:

Een ESP is technisch toepasbaar op alle type toestellen voor huishoudelijke houtverwarming: haarden, kachels, en ketels. Het is echter wel afgeraden om een ESP te installeren bij rookgassen die veel vetten bevatten (door de verhoogde kans op een schouwbrand), zoals bijvoorbeeld op rookgassen van ovens gebruikt in restaurants. Deze toestellen vallen echter buiten de scope van deze BBT-studie.

Bij de installatie van de ESP wordt de transformator afgesteld op basis van de eigenschappen van het toestel en de schouw. Bij latere vervanging van het toestel (bv. door een nieuwer toestel met doorgaans lager vermogen) wordt de transformator aangepast en moet de ESP hiervoor dus niet vervangen worden.

Beperkingen voor ESP's op de monding van de schouw:

De schouwdiameter moet bepaalde afmetingen hebben en is afhankelijk van de fabrikant en het gewenste model. Bij een te brede diameter wordt het verwijderingsrendement te klein. Zonodig kan de schouw bovenaan wel verkleind/versmald worden.

Daarnaast zijn er nog enkele technische beperkingen om de goede werking van de ESP te garanderen:

- Om schade aan de ESP te vermijden, mag de rookgastemperatuur maximaal 250°C-400°C bedragen op het uiteinde van de schouw, afhankelijk van het type ESP.
- Het rookgaskanaal moet een recht verticaal kanaal hebben van minimaal 38-160 cm, afhankelijk van het type ESP. Dit is de lengte van het lint dat als elektrode fungeert en het benodigde oppervlak om alle soorten fijn stof te laden. Hoe langer het resterende rookgaskanaal na de ESP, hoe beter de afzetting van fijn stof op de wanden. Bovendien moet fijn stof zich onderin het rookgaskanaal kunnen verzamelen.
- Voor pelletkachels- en ketels voldoet een recht verticaal stuk van 50cm omdat de input van het hout gecontroleerd wordt en het benodigde oppervlak om de partikels te laden kleiner is.
- Schoorstenen die meer dan 1,5 m boven het platte dak uitsteken alsook schuine daken bemoeilijken de installatie en het onderhoud van het systeem door de slechte bereikbaarheid voor de installateur en de schoorsteenveger. Dit betreft het merendeel van de schouwen en in deze gevallen zal er voor de installatie met een hoogtewerker gewerkt moeten worden. De schoorsteenreiniging kan eventueel ook van onderuit gebeuren.

Beperkingen voor ESP's in het rookgaskanaal kort na het toestel:

- De pijp moet van een positief geladen materiaal zijn om de negatief geladen partikels aan te trekken. Metalen pijpen zijn hiervoor geschikt, maar ook keramische rookkanalen en gemetselde schouwen op voorwaarde dat ze geaard zijn.
- De ESP moet in een goed bereikbaar en zichtbaar deel van het rookgaskanaal kunnen gemonteerd worden. Hierdoor is deze uitvoering enkel toepasbaar bij ketels en kachels waar de rookgasbuis bereikbaar is, of bij moeilijk bereikbare rookgaskanalen zoals bij inbouwkachels met behulp van een inspectieluik. Bovendien moet er een recht verticaal kanaal zijn van minimaal 50cm voor pelletkachels- en ketels.
- De ESP in het rookgaskanaal is beperkt geschikt voor oude ketels en kachels vanwege mogelijke condensatie van teer op de elektrode. (Obernberg & Mandl, 2011)
- In de studie van TU Graz (Obernberg & Mandl, 2011) werd geschat dat er in 2011 zo'n 1900 ESP toestellen in omloop waren (1200 Zumikon + 700 OekoTubes). In België zijn volgens Polvo anno 2019 ca. 140 OekoTube toestellen geïnstalleerd.

→ Milieuvoordeel

Het milieuvoordeel van een ESP is het verwijderen van partikels die elektrisch geladen kunnen worden, zoals roet en organisch- en mineraal fijn stof, maar hebben echter geen effect op geurdeeltjes. De verwijderingsrendementen die gerapporteerd worden in de literatuur zijn zeer uiteenlopend, gaande van 11% tot >90%. De grote range heeft enerzijds te maken met het feit dat stof kan agglomereren op de wanden en later weer vrijkomen, en anderzijds omdat de verbrandingscondities, merken van toestellen, en duur van de tests onderling vaak verschillen.

Om een beter zicht te krijgen op de verwijderingsrendementen van ESP toestellen, werden verschillende bronnen gescreend (o.a. (Obernberg & Mandl, 2011), (Hartmann, Turowski, & Kiener, 2010), (Van Poppel, Baeyens, Aerts, & Divi-Divi), 2018)). Het onderzoek van TU Graz *Survey on the present state of particle precipitation devices for residential biomass combustion with a nominal capacity up to 50 kW in IEA Bioenergy Task32 member countries* bevat nuttige onafhankelijke informatie over de stand der techniek van ESP toestellen. Tabel 25 geeft een overzicht van de verwijderingsrendementen van verschillende ESP toestellen volgens de verschillende bronnen:

Tabel 25: Overzicht van fijn stof verwijderingsrendementen van een ESP

Naam ESP	Plaatsing	Verbrandingstoestel	Gemiddelde verwijderingsrendement fijn stof	Type en duurtijd van test	Reinigingsmethode	Bron informatie
Residential ESP	Schouw	Oude houtkachel Oude houtkachel	54%-61% 85%-99%	Veld, 61 dagen Lab, 250 min	Manueel	TU Graz
		Multi stoker ketel Moderne stoof Oude stoof	80% 69% 55%	Lab, duur onbekend Veld, 4.300 uur Veld, 4.300 uur		
Carola-KIT	Rookgaskanaal	Moderne stoof Houtpelletketel	87% 82%	Lab, duur onbekend	Automatisch	TU Graz
Zumikron	Rookgaskanaal	Houtketel Moderne stoof Oude stoof	41% 17% 11%	Veld, 545 uur	Manueel	TU Graz
OekoTube	Schouw	Moderne pelletketel	97%	Lab, 5 uur	Manueel	TU Graz
Bosch	Rookgaskanaal	Moderne pelletketel	70%	Lab, 860 uur	Automatisch	TU Graz
RuFF-Kat	Schouw	Moderne houtketel	>70%	Lab, duur onbekend	Automatisch	TU Graz
AL-Top – Schröder	Rookgaskanaal	Moderne houtketel	48%-82%	Lab, duur onbekend	Automatisch	TU Graz
SF20 – Spanner	Rookgaskanaal	Moderne ketel Oude houtketel	60% 25% en 80% ⁸	Veld, 410 uur Veld, 2.900 uur	Automatisch	TU Graz
Airbox	Boven verbrandingskamer	Houtkachel	60%-80%	Lab, duur onbekend	Manueel	TU Graz

⁸ 25% zonder bypass tijdens de startfase, 80% met bypass tijdens de startfase. Voor ketels met een slechte verbranding is een bypass nodig voor de opstartfase. Als er geen bypass is, wordt overmatig roet verzameld op de elektroden en dit kan kortsluitingen veroorzaken.

Kamin-Feinstaubkiller	Schouw	Oude houtketel	64%	Lab, 30 uur	Automatisch	TU Graz
OekoTube	Rookgaskanaal	Moderne kachel	34%-55%	Lab, duur onbekend	Manueel	Divi-Divi-VITO
Residential	Schouw	Oude kachel Moderne kachel	55% 69%	Veld, duur onbekend	Manueel	Hartmann (2010)
SF20 Spanner	Rookgaskanaal	Pelletketel	80%	Veld, duur onbekend	Automatisch	Hartmann (2010)

Globaal gezien kunnen we stellen dat op oude verbrandingstoestellen en bij lange duur praktijk (veld) testen een lager verwijderingsrendement behaald wordt dan bij korte laboratorium opstellingen. De redenen hiervoor kunnen zijn dat storingen minder snel verholpen worden, en de startfase van de stook telkens een verhoogde emissie met zich meebrengt. Tijdens laboratorium testen wordt de uitstoot van het verbrandingstoestel meestal pas gemeten wanneer de verbranding maximaal is en de ESP volledig functioneel. Het is moeilijk om uit deze resultaten duidelijke conclusies te trekken, temeer omdat de verbrandingscondities, merken van toestellen, en duur van de test onderling vaak verschillen. Ook de methode om fijn stof te meten kan verschillen per test. De reële verwijderingsrendementen bij de mensen thuis gedurende een volledig seizoen zullen wellicht vergelijkbaar zijn met de resultaten van de veld testen. We vroegen een vijftal onafhankelijke ESP gebruikers om hun ervaring te delen⁹. Hieruit bleek dat de kleur van de rook zichtbaar lichter werd na plaatsing van de ESP, wat wijst op een zichtbare verminderde roet uitstoot.

Voor oude, vervuilende toestellen moet in elk geval een afweging gebeuren tussen de aankoop van een nieuw performanter toestel (met niet alleen lagere emissies, maar ook een hogere energie-efficiëntie) en het plaatsen van een ESP.

Cross media effecten:

Storingen:

Uit de gescreende literatuur (zie Tabel 25) bleek dat laboratorium testen vaak een hoger verwijderingsrendement behaalden dan veldtesten, omdat in de praktijk nog vaak storingen bij de ESP optreden die minder snel opgelost worden, en dus het gemiddelde rendement naar beneden halen. Enkele storingen die werden gerapporteerd (Hartmann, Turowski, & Kiener, 2010) zijn de volgende:

- Uitval van de luchtstroom rond de elektrode
- Springen van zekering als gevolg van storingen en kortsluitingen (vooral wanneer de vuilvracht significant is en op de elektroden blijft plakken)
- Elektrodebreuken: dit wordt vaak veroorzaakt door een foutieve reiniging van de elektrode (bvb wanneer er krassen gemaakt worden bij het reinigen met een stalen borstel)
- Spanningsverlies bij de elektroden
- Schoorsteentrekproblemen (aandachtspunt bij probleemsituaties waar er al een probleem met de shouwtrek is)
- Binnendringen van regenwater

Bij oude huishoudelijke verbrandingstoestellen, met een hoge initiële concentratie fijn stof in de rookgassen, wordt een aanzienlijke hoeveelheid vuilvracht verzameld op de elektroden en de isolatie (zie ook Figuur 34 hieronder). Dit kan leiden tot storingen en kortsluitingen wanneer de elektrode niet tijdig gereinigd wordt. Voor sommige ESP's geïnstalleerd op oude ketels met een slechte verbranding is daarom een bypass nodig in de opstartfase van de verbranding, dit om roet depositie te vermijden wat aanleiding geeft tot kortsluitingen (Oberberg & Mandl, 2011)

⁹ De leeftijden van de toestellen varieerden van een inbouwcassette van 5 jaar oud tot een kachel van 20 jaar oud.



Figuur 34: Elektrodeklem van de Zumikon ESP, gedemonteerd voor reiniging na gebruik (Hartmann, Turowski, & Kiener, 2010)

Een groot deel van deze storingen kan volgens de fabrikant vermeden worden door een correcte montage en periodiek onderhoud van de ESP. Uit de bevraging van enkele onafhankelijke ESP gebruikers in Vlaanderen¹⁰ bleken nog geen gevallen van vonkoverslag noch storingen te hebben plaatsgevonden die het verwijderingsrendement zouden kunnen verlagen, dit gedurende het eerste jaar na installatie. Ervaringen over het gebruik van meer dan één jaar zijn niet gekend.

Elektriciteitsverbruik:

Het vermogen van een ESP situeert zich tussen 10W en 100W, en is afhankelijk van het vermogen van de brander, de schouwdiameter, en het stookgedrag van de gebruiker. Om een inschatting te krijgen van het jaarlijks verbruik nemen we twee type gebruikers als voorbeeld: enerzijds de “sfeer- of bijverwarmers” en anderzijds de “hoofdverwarmers”.

“Sfeer- of bijverwarmers” zetten hun kachel of haard aan om sfeer te maken. We veronderstellen hier een gebruik van 10 uur per week, 4 maanden lang (18 weken). Het totaal verbruik voor 180 uur/jaar aan 10-100 W komt overeen met een range van 1,8-18 kWh/jaar.

“Hoofdverwarmers” gebruiken de kachel of haard als verwarming; hier veronderstellen we een gebruik van: 4uur x 5 dagen per week + 2x12uur in het weekend = 44 uur/week, 5 maanden lang (22 weken). Dit komt overeen met een totaal gebruik van 968 uur/jaar aan 10-100 Wh en een elektriciteitsverbruik van zo’n 9,6 tot 96 kWh/jaar afhankelijk van het vermogen van de ESP.

Geluid:

Door de afzetting van roet en as op een hoogspanningselektrode kan er vonkoverslag ontstaan, hetgeen aanleiding kan geven tot geluidshinder. Uit de studie van TU Graz en Hartmann werden tijdens alle veld testen klachten ontvangen van geluidshinder, enerzijds van de gebruikers zelf door de ingebouwde ventilator, en anderzijds van burens door de vonkoverslag). Volgens fabrikanten kan vonkoverslag vermeden worden door een correcte installatie en adequaat onderhoud. VITO heeft in het kader van deze BBT-studie de ervaring van een vijftal onafhankelijke ESP gebruikers bevestigd en

¹⁰ De gebruikers hadden allen een ESP van het merk Oekotube. De verbrandingstoestellen varieerde van een inbouwcasette van 5 jaar oud tot een kachel van 20 jaar oud.

zij hebben geen gevallen van geluidshinder gerapporteerd gedurende het eerste jaar na installatie. Ervaringen van het gebruik langer dan één jaar zijn niet beschikbaar.

Veiligheid:

Bij toepassingen op huishoudelijke houtverwarming zijn er geen indicaties dat een ESP de kans op een schouwbrand verhoogt. Dit is wel het geval bij rookgassen die veel vetten bevatten (bvb restaurants) of héél hoge temperaturen hebben (bvb pizza ovens), maar dit valt buiten de scope van deze studie.

Afvalstoffen:

Het stof dat wordt afgescheiden door de ESP is een afvalstof. De hoeveelheid en samenstelling van het stof is afhankelijk van de hoeveelheid en kwaliteit van het stof dat vrijkomt bij de verbranding, en is daardoor ook gelinkt aan de aard van het gebruikte toestel en de verbrandingscondities. Verontreiniging die aanwezig zijn in de rookgassen (bv PAKs) zullen ook teruggevonden worden in het afgescheiden stof.

→ Financiële aspecten

Investeringskost:

De aanschafkosten voor een elektrostatisch filter zijn circa 1.500 – 2.200 euro inclusief installatie en plaatsing (Obernberg & Mandl, 2011). Er wordt geadviseerd om de installatie door een professionele installateur te laten uitvoeren en dus niet als doe-het-zelf-klus. Voor slecht beloopbare daken of schoorstenen die meer dan 1,50 m uitsteken zal een hoogtewerker ingeschakeld moeten worden voor de montage, met een extra kost van ca. 150 euro. (Leveranciersinformatie elektrofilter, 2019)

Werkingskost:

De werkingskost van een ESP komt voornamelijk van het elektriciteitsverbruik van de elektroden en de ventilator. Met een vermogen van 10W-100W bedraagt de kost 0,39-3,9 eurocent per uur (met een kostprijs van € 0,39/kWh (VREG, 2019)) dat het toestel aanstaat. Voor de 'sfeerverwarmers' komt dit neer op een kost van € 0,70-7,0 /jaar. Voor de 'hoofdverwarmers' komt dit neer op een kost van € 4-40 /jaar

Onderhoudskost:

Volgens distributeurs moet een manuele elektrofilter 1 à 2 keer per jaar gereinigd worden, afhankelijk het type toestel en het gebruik ervan. De kostprijs voor een onderhoudsbeurt ligt rond de 100-150 euro, afhankelijk van het aantal rookkanalen dat gekuist moet worden. Het onderhoud van de elektrode gebeurt gewoonlijk samen met de jaarlijkse (in sommige gevallen verplichte, zie ook Hoofdstuk 2) schouwreiniging, en heeft in geen noemenswaardige extra kost. Belangrijk hier is dat er geen stalen borstel gebruikt wordt aangezien deze de elektrode kan beschadigen.

4.5. INSTALLATIE VAN TOESTELLEN

4.5.1. KEUZE VAN HET TOESTEL IN FUNCTIE VAN DE BEHOEFTE

→ Beschrijving

Kachels met een te laag vermogen krijgen de betrokken ruimte niet opgewarmd en worden vaak oververhit wat kan leiden tot beschadiging van de kachelbehuizing. Kachels met een te groot vermogen geven dan weer meer warmte dan nodig. Hierbij zal men het verbrandingsproces beperken door de luchttoevoer te verminderen en de kachel op deellast laten werken met het risico op langdurig smoren. Uit emissiemetingen (zie paragraaf 3.4.3) blijkt dat emissies tijdens deellast aanzienlijk hoger zijn dan bij nominale belasting van het toestel. Het is daarom belangrijk dat gebruikers een toestel kiezen met een vermogen dat afgestemd is op de warmtevraag om te vermijden dat toestellen bij te lage deellast gebruikt worden. Dit geldt des te meer voor manueel geregelde toestellen aangezien deze toestellen het beste presteren bij nominaal vermogen.

Ook voor ketels is het aangewezen om deze zoveel mogelijk op nominale belasting te stoken. Bij een ketel kan de wisselende vraag naar warmte opgevangen worden door een warmtebuffer te plaatsen tussen de verbrandingsinstallatie en het afgiftecircuit om zo de continuïteit van het verbrandingsproces en het draaien bij nominale belasting te optimaliseren.

Pellettoestellen beschikken bijkomend over de mogelijkheid om het vermogen, al dan niet automatisch, te regelen binnen een voorafbepaald vermogensbereik.

→ Toepasbaarheid

Er zijn geen technische beperkingen gekend.

→ Milieuvoordeel

De keuze van het juiste toestel maakt dat er meer bij nominale belasting gestookt kan worden waardoor er een betere verbranding plaats vindt en de emissies bijgevolg lager zijn.

→ Financiële aspecten

Kiezen voor een toestel met het juiste vermogen heeft geen relevante impact op de aankoopprijs. De aanschaf van een extra buffervat bij ketels betekent wel een meerprijs.

4.5.2. GOEDE PLAATSING VAN HET TOESTEL

→ Beschrijving

De locatie van het toestel in de kamer is ook essentieel voor een optimale verspreiding van de warmte. Bij voorkeur wordt het toestel geplaatst volgens volgende voorwaarden:

- Aan een binnenmuur zodat er een minimum aan warmte verloren gaat naar buiten
- In de buurt van de trap indien het aangewezen is dat de bovenverdieping mee verwarmd wordt
- Accumulatie kachels worden best centraal in de te verwarmen ruimte geplaatst

- Op een locatie waar er goede mogelijkheden zijn voor aanvoer van externe lucht en afvoer van rookgassen (zie paragraaf 4.1)

→ Toepasbaarheid

De ruimte die beschikbaar is zal mee bepalen welk type toestel geplaatst kan worden. Met betrekking tot de plaatsing van het toestel zijn er eisen naar afstand van brandbare materialen, dit zowel voor de zijwanden als de achterwand en vloer. Ook is het belangrijk dat in luchtdichte woningen de luchttoevoer volledig luchtdicht wordt aangesloten om onderdruk te vermijden in de woonruimte.

→ Milieuvoordeel

De plaatsing zelf heeft geen rechtstreekse invloed op de emissies, wel zijn er factoren die het rendement kunnen verhogen zoals een geschikte locatie met een minimum verlies aan warmte.

→ Financiële aspecten

Het plaatsen van het toestel op een goede plaats heeft geen meerkost. Een goede plaatsing kan wel de expertise van een installateur vereisen wat een hogere kost met zich meebrengt.

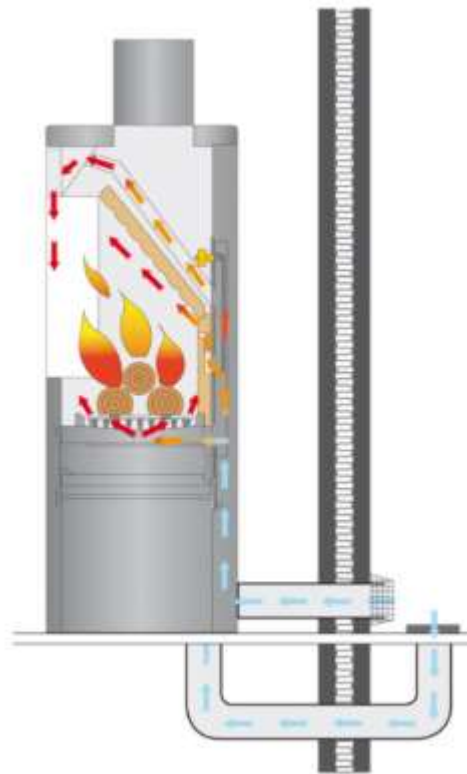
4.5.3. EXTERNE LUCHTTOEVOER

→ Beschrijving

De aanvoer van lucht kan vanuit de woonruimte of via externe luchttoevoer. Bij externe luchttoevoer wordt de lucht onttrokken uit de buitenomgeving door middel van een luchttoevoerkanaal. Dit laat een gecontroleerde luchttoevoer toe wat de verbranding ten goede komt en waarbij geen rookgassen in de woonruimte kunnen komen door onderdruk in de woonruimte. Bij luchtdichte woningen met ventilatiesystemen is externe luchttoevoer een absolute vereiste aangezien hier geen natuurlijke toevoer van omgevingslucht is.

De toegevoerde secundaire lucht wordt best voorverwarmd om zo min mogelijk warmteverlies te creëren in de verbrandingskamer (zie paragraaf 4.1.12). Primaire lucht wordt best niet

voorverwarmd om te snelle verbranding te vermijden.



Figuur 35: Illustratie van een externe luchttoevoer (blauwe pijlen) bij een houtkachel (123-Kaminofen, 2019)

→ Toepasbaarheid

De techniek is over het algemeen steeds toepasbaar. Echter in bestaande situaties kan het niet evident zijn of zelfs onmogelijk om toegang te hebben tot externe luchttoevoer.

Bij stukhout toestellen is de aanvoer van externe lucht bijna altijd via natuurlijke trek, bij pellettoestel en houtgestookte ketels wordt meestal gebruik gemaakt van geforceerde luchttoevoer via een rookgasventilator (zie paragraaf 4.5.6)

→ Milieuvoordeel

Het gebruik van een externe luchttoevoer verhoogt het energetisch rendement gezien er geen warme lucht onttrokken wordt aan de omgevingsruimte voor het verbrandingsproces. Bij aanvoer van externe lucht is er ook steeds voldoende luchttoevoer wat het verbrandingsproces ten goede komt ten opzichte van een situatie waarin er onderdruk in de desbetreffende ruimte kan ontstaan met het risico op geurhinder en rookgassen die in de woonruimte terecht komen. Bovendien bevat buitenlucht ook meer zuurstof dan omgevingslucht.

→ Financiële aspecten

De meerkost voor externe luchttoevoer is afhankelijk van de plaatsing van het toestel.

4.5.4. GOEDE PLAATSING VAN HET ROOKGASKANAAL

→ Beschrijving

Traditionele rookkanalen (terracotta, baksteen, beton) zijn vaak niet meer aangepast aan moderne toestellen. Momenteel wordt de voorkeur gegeven aan roestvast stalen (inox) rookgaskanalen.

Een goede plaatsing van de schoorsteen of het rookgaskanaal is bepalend voor de goede werking van een toestel. Een juiste trek in het rookgaskanaal zorgt voor een goed verbrandingsproces in het toestel.

Voor de van toepassing zijnde normen wordt verwezen naar paragraaf 2.3.5.

Het rookgaskanaal wordt bij voorkeur zo verticaal mogelijk geplaatst en met een minimum aan bochten vertrekkende van de uitgang van het toestel. Horizontale stukken worden best vermeden of tot een minimum beperkt. Dit alles omdat bij aanwezigheid van horizontale stukken de turbulentie bij de rookgassen verhoogt en dit de trek doet verminderen en omdat horizontale stukken geen bijdrage leveren aan de thermische trek ondanks dat ze wel de drukverliezen verhogen.

Voorts is een rookgaskanaal bij voorkeur glad van binnen, voldoende hoog en met een constante diameter (ook geen vernauwing aan de schoorsteenmond). Voldoende hoog wordt in de code van goede praktijk 'Voorkomen en beheersen van milieuhinder van kleinschalige lucht- en dampafvoersystemen' als volgt beschreven (Departement Omgeving, 2017):

'Een goede uitvoering is om de schouwmond bij een puntdak (gelijk aan of meer dan 23° dakhelling) dicht bij de nok en minimum 1 m erboven te voorzien. Bij daken met een kleinere helling wordt de schouwmond best 2,5 m hoger dan de dakrand voorzien. Bij aanwezigheid van naburige hindernissen kan het nodig zijn om de schouw op te trekken tot ca. 1 m boven de nok van de naburige hindernissen'.

Met betrekking tot de diameter, deze is afgestemd op de gewenste rookgassnelheid en de hoeveelheid rookgassen die afgevoerd moeten worden. Bij een te kleine diameter van het rookgaskanaal kunnen de rookgassen onvoldoende afgevoerd worden en bij een te grote diameter van het rookgaskanaal is er meer risico op afkoeling van de rookgassen met als gevolg mogelijke condensatie en bijhorende verstoring van de trek. Een rond rookgaskanaal is te verkiezen boven een rechthoekig of een vierkant rookgaskanaal. Niet geïsoleerde rookgaskanalen mogen zich niet buiten de woning bevinden of zo beperkt mogelijk aangezien de rookgassen bij een koude buitentemperatuur te sterk afgekoeld worden en dit resulteert in onvoldoende trek.

De monding van het rookgaskanaal is best voorzien van een goede schoorsteenkap, de code van goede praktijk 'Voorkomen en beheersen van milieuhinder van kleinschalige lucht- en dampafvoersystemen' beschrijft dit als volgt: *Een juist ontworpen schoorsteenkap heeft een stabiliserend effect op de trek en verhindert regeninslag.* (Departement Omgeving, 2017) Tot slot bevindt de rookgaskanaal monding zich in een ongestoorde zone. Dit is een zone waarbij de afvoer van de rookgassen in de atmosfeer niet gehinderd worden door wind of andere omliggende hindernissen als bomen, daken of andere gebouwen. Bovendien is de monding best verwijderd van ramen en inlaatopeningen om hinder binnen te vermijden.

→ **Toepasbaarheid**

Belangrijk bij het aansluiten van het rookgaskanaal is ervoor te zorgen dat alle verbindingen luchtdicht zijn.

In bestaande gebouwen moet er voor de plaatsing van de schoorsteen rekening gehouden worden met de bestaande situatie waardoor het niet altijd mogelijk is om te voldoen aan de optimale voorwaarden voor de plaatsing van een schoorsteen. Bij het plaatsen van een nieuwe kachel kan het nodig zijn om ook het rookgaskanaal volledig te vernieuwen.

→ **Milieuvoordeel**

Een goed geplaatst rookgaskanaal draagt bij tot een goede trek in de schoorsteen wat bijdraagt aan een goede verbranding met bijhorend hoger rendement en lagere emissies.

Het plaatsen van een rookgaskanaal in de woonruimte kan een bijkomende rendementsverhoging geven. Een rookgaskanaal in de woning geeft namelijk een beter opstartrendement doordat het kanaal reeds warmer is en bijgevolg een betere trek heeft.

→ **Financiële aspecten**

De prijs voor het plaatsen van een rookgaskanaal en schoorsteen is afhankelijk van meerdere factoren, onder andere de lengte en diameter van de buizen en het type toestel waarop aangesloten moet worden. In bestaande situaties kan de installatie bijkomende kosten veroorzaken voor aanpassing aan de bestaande situatie of kan het nodig zijn om het rookgaskanaal volledig te vernieuwen wat bijgevolg een sterk prijsverhogende factor is.

4.5.5. ISOLATIE ROOKGASKANAAL

→ **Beschrijving**

Isolatie van de schoorsteen zorgt ervoor dat de afkoeling van het rookgas beperkt blijft. Dit is noodzakelijk om voldoende trek te hebben in de schoorsteen en zo de onderdruk aan de monding van de schoorsteen te handhaven. Bovendien wordt hierdoor ook mogelijke condensatie van de rookgassen in de schoorsteen voorkomen.

Bij een niet geïsoleerde schouw is het beter dat de schouw niet direct naar buiten gaat maar eerst nog een stuk door de woning om dan via het dak naar buiten te gaan waardoor de onderste zone in de schouw de temperatuur van de binnenomgeving opneemt en hierdoor vermeden wordt dat de schouw te koud is en er onvoldoende trek is.

→ **Toepasbaarheid**

Er zijn geen technische beperkingen gekend. Bij het gebruik van een dubbelwandig afvoerkanaal (zie paragraaf 4.1.12) vormt de lucht in het buitenste kanaal een isolatie voor het centrale rookgaskanaal.

→ Milieuvoordeel

Isolatie van de schoorsteen draagt bij tot een goede trek in de schoorsteen welke bijdraagt aan een goede verbranding met bijhorend hoger rendement en lagere emissies.

→ Financiële aspecten

Er zijn geen financiële gegevens hierover gekend, maar de meerkost voor isolatie is meestal eerder beperkt.

4.5.6. GEFORCEERDE TREK VOOR VOLDOENDE LUCHTTOEVOER IN DE VERBRANDINGSKAMER

→ Beschrijving

Een geforceerde trek voor voldoende luchttoevoer voor verbranding bestaat meestal uit een rookgasventilator in het rookgasafvoerkanaal of een roterende kap op de schoorsteenmonding en wordt toegepast om de luchttoevoer te optimaliseren indien natuurlijke trek onvoldoende is. Rookgasventilatoren kunnen gestuurd worden door middel van een temperatuursonde of in functie van het proces. Een Roterende kap werkt op basis van de wind en de stijgende, warme rookgassen. De kap is niet stuurbaar en over het algemeen minder efficiënt en niet even bedrijfszeker als een rookgasventilator. Wel voorkomt de roterende kap het terugstromen van de rookgassen.

Naast geforceerde luchttoevoer voor verbranding is er ook geforceerde luchttoevoer voor convectie mogelijk welke bijdraagt aan de warmteoverdracht naar de omgeving. Deze ventilator kan manueel aangestuurd worden (gebruiker bepaalt wanneer de ventilator al dan niet in werking is) of thermodynamisch (op basis van een temperatuursmeting wordt de ventilator aan/uit geschakeld, al dan niet gecombineerd met een sturing van de snelheid (oa bij pelletkachels)). Bij deze laatste wordt de temperatuursmeting per toestel bepaald afhankelijk van de constructie van het toestel en het type temperatuursmeting, typisch is dit onder de stookbodem of op de achterwand. Deze luchttoevoer voor convectie heeft geen invloed op het verbrandingsproces en/of de bijhorende emissies.

→ Toepasbaarheid

Er zijn geen technische beperkingen gekend. Bij een goed ontworpen rookgaskanaal is er normaal voldoende natuurlijke trek en moet deze maatregel niet standaard toegepast worden. Bij pelletgestookte kachels, inbouw- en inzetkachels wordt geforceerde trek soms toegepast, bij de overige houtgestookte kachels zelden of nooit.

→ Milieuvoordeel

Een geforceerde trek voor luchttoevoer draagt, bij onvoldoende natuurlijke trek, bij tot een optimalere verbranding waardoor het rendement verhoogt en de emissies dalen. Bijkomend wordt de roetaanslag en de condensvorming in het rookgaskanaal vermindert. Rookgasventilatoren vereisen net zoals alle ventilatoren een beperkt energieverbruik en produceren ook enig geluid. Belangrijk hierbij is dat het debiet van de luchttoevoer correct is afgesteld, bij een te grote luchttoevoer kan de verbranding onvolledig zijn waardoor de emissies net toenemen.

Indien men over een goede constructie en voldoende natuurlijke convectie beschikt is er geen meetbare invloed op de verbranding en heeft de maatregel dus geen meerwaarde.

→ **Financiële aspecten**

De meerkost van deze investering is het plaatsen van een rookgasventilator in het rookgasafvoerkanaal of een roterende kap op de schoorsteenmonding, inclusief de nodige elektrische voorzieningen en integratie van de sturing.

4.5.7. PLAATSING DOOR EEN DESKUNDIGE INSTALLATEUR

→ **Beschrijving**

De primaire en secundaire maatregelen beschreven in paragrafen 4.1, 4.2, 4.3 en 4.4, alsook de goede plaatsing van een rookgaskanaal en schoorsteen, dragen bij tot het bekomen van een optimale verbranding en reductie van de emissies. Voor de juiste werking van enerzijds het toestel en anderzijds het rookgaskanaal is het zeer belangrijk dat alles op de juiste manier geïnstalleerd en aangesloten wordt.

→ **Toepasbaarheid**

Er zijn geen technische beperkingen gekend.

→ **Milieuvoordeel**

Voor de meeste maatregelen beschreven in hoofdstuk 4 is het essentieel dat deze op de juiste manier geïnstalleerd zijn. Een foutieve installatie verhoogt mogelijks het risico op emissies in plaats van dit te doen dalen. Installatie door een deskundige installateur verlaagt het risico op fouten bij de installatie.

→ **Financiële aspecten**

Installatie door een deskundige installateur brengt een bijkomende kost met zich mee. Voor inzettoestellen, vrijstaande kachels en niet geautomatiseerde ketels bedraagt de installatiekost 250 tot 1500 euro. Voor geautomatiseerde ketels moet men rekenen op 2000 à 3000 euro (Ademe, 2018).

4.5.8. DROGE EN VERLUCHTE OPSLAGRUIMTE VOOR HOUT VOORZIEN (BINNEN OF BUITEN)

→ **Beschrijving**

Bij systemen op hout is het essentieel om gebruik te maken van droog hout om de emissies te beperken. Het hout moet daarom voldoende drogen alvorens het als stookhout gebruikt wordt. Hiervoor wordt het hout best zodanig gestapeld dat er voldoende verluchting is om het hout te laten

drogen op een locatie beschermd tegen de regen. Een geschikte opslagplaats en methode kan de droogtijd van hout aanzienlijk verkorten. Met behulp van een houtvochtmeter kan de vochtigheid van het hout gemakkelijk gemeten worden. Het optimale vochtgehalte voor stukhout ligt tussen 10% en 20%. Volgens de website <https://www.ecopedia.be/pagina/wanneer-mijn-hout-droog-genoeg-om-te-stoken> is de vochtigheid van het hout best lager dan 15%.

Bij pellets wordt er een onderscheid gemaakt tussen de systemen die manueel per zak bijgevuld worden en de systemen met automatische aanvoer vanuit uit silo. Bij beide systemen moet er voldoende ruimte zijn voor enerzijds het droog opslaan van de zakken pellets en anderzijds voor installatie van een opslagsilo.

→ Toepasbaarheid

Er zijn geen technische beperkingen gekend buiten de aanwezigheid van voldoende ruimte.

→ Milieuvoordeel

Het stoken van droog hout draagt bij tot het bekomen van een optimale verbranding waardoor het rendement stijgt en de emissies dalen.

→ Financiële aspecten

De kosten voor het droog opslaan van hout variëren sterk in functie van de gekozen toepassing en reeds beschikbare ruimte. Een houtvochtmeter is beschikbaar vanaf 10 euro.

4.6. GEBRUIK VAN TOESTELLEN

4.6.1. OPVOLGEN VAN STOOKTIPS

→ Beschrijving

Voor stukhout gestookte kachels en haarden wordt best rekening gehouden met volgende tips. De opstartfase is best zo kort mogelijk aangezien in deze fase het toestel nog niet op temperatuur is en de verbrandingssamenstellingen bijgevolg onvoldoende lang op hoge temperatuur zijn om volledig te verbranden. Hierdoor zijn er initieel hoge emissies waar te nemen. Hoe sneller het vuur opstart, hoe sneller het toestel op temperatuur is. Voor de opstart wordt daarom best rekening gehouden met volgende maatregelen:

- Volledig openzetten van de luchttoevoer;
- Hout stapelen waarbij het meest brandbare materiaal bovenaan ligt en de houtstapel langs boven wordt aangestoken.
- Goede stapeling van de houtblokken met voldoende ruimte ertussen voor goede luchtcirculatie

Eens het vuur goed brandt mag de primaire luchttoevoer gesloten of verminderd worden, de secundaire luchttoevoer moet wel voldoende blijven om een optimale verbranding te behouden en smoren te vermijden. Vervolgens wordt er best regelmatig kleine hoeveelheden hout toegevoegd in

plaats van af en toe veel hout. Anderzijds moet vermeden worden dat de deur te vaak geopend wordt aangezien de temperatuur in de verbrandingskamer telkens daalt.

Er moet steeds zuiver en droog stukhout gestookt worden. Samengesteld hout bevat lijmen en andere kunststoffen die bij verbranding verantwoordelijk zijn voor veel luchtverontreiniging en roetaanslag. Harshoudend naaldhout en hout met schors of takken is eveneens niet geschikt als brandhout.

Tijdens het verbrandingsproces is er steeds voldoende luchttoevoer nodig. Bij te weinig luchttoevoer krijgt het vuur te weinig zuurstof en krijgt men een onvolledige verbranding.

Als het vuur gedoofd is en er blijven enkel assen over kan de luchttoevoer gesloten worden om warmteverlies via het rookgaskanaal te vermijden.

Pelletkachels en ketels zijn meestal voldoende geautomatiseerd waardoor automatisch de meest optimale verbranding wordt nagestreefd.

→ **Toepasbaarheid**

Er zijn geen technische beperkingen gekend.

→ **Milieuvoordeel**

Het opvolgen van stooktips draagt bij aan de optimale verbranding.

→ **Financiële aspecten**

Er is geen financiële impact gekend.

4.6.2. HOUTVERBRANDING BEPERKEN BIJ HOGE FIJN STOFCONCENTRATIES EN ONGUNSTIGE WEERSOMSTANDIGHEDEN

→ **Beschrijving**

Houtverbranding brengt emissies mee van onder andere fijn stof. Op momenten dat er hoge concentraties van fijn stof zijn of bij ongunstige weersomstandigheden waarbij dispersie van stofemissies belemmerd wordt (bv. windstil weer, temperatuursinversie), is het aangewezen om zo weinig mogelijk te stoken en zo bijkomende emissies van fijn stof te beperken. Omdat van stokers niet kan verwacht worden dat zij zelf bepalen wanneer de omstandigheden ongunstig zijn, geeft VMM stookadvies. Wanneer de gemiddelde, gemeten fijn stofconcentratie in Vlaanderen tijdens de laatste 24u hoger is dan $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en er geen verbetering voorspeld wordt, geeft de VMM het advies om geen of zo weinig mogelijk hout te verbranden (zie <https://www.vmm.be/lucht/luchtkwaliteit/stookadvies>). Als de voorspellingen daarna aangeven dat de kans klein is dat de concentraties nog 24u lang boven de grens van $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ blijven, zal het advies ingetrokken worden.

→ Toepasbaarheid

De maatregel is in principe goed van toepassing op toestellen die dienst doen als sfeerelement of bijverwarming. Voor toestellen die gebruikt worden als (enige) hoofdverwarming is het minder evident om het stoken helemaal te stoppen.

→ Milieuvoordeel

Door het beperken van de houtverbranding worden de emissies door houtverbranding beperkt.

→ Financiële aspecten

Er zijn geen rechtstreekse kosten verbonden aan deze maatregel.

4.6.3. INSTRUCTIES FABRIKANT VOLGEN

→ Beschrijving

Er zijn zeer veel verschillende toestellen op de markt. Door de snelle evolutie in ontwikkeling en performantie is het optimaal stookproces niet per definitie hetzelfde voor alle toestellen. Zo kunnen er bijvoorbeeld verschillen zijn op vlak van regeling van de luchttoevoer, onderhoud, ... Bovendien is het ook belangrijk om enkel de brandstof(fen) te gebruiken die door de fabrikant aangeraden worden. Het is daarom aangewezen om, indien beschikbaar, de instructies van de fabrikant te volgen bij elk toestel, dit kan bestaan uit een handleiding en/of opleiding.

→ Toepasbaarheid

Deze maatregel is van toepassing bij ieder toestel dat beschikt over de nodige instructies.

→ Milieuvoordeel

Het correct gebruik van een toestel draagt bij aan een optimale verbranding wat het rendement en de emissies ten goede komt.

→ Financiële aspecten

Er zijn geen kosten verbonden aan het opvolgen van de instructies van de fabrikant.

4.7. ONDERHOUD VAN TOESTELLEN EN ROOKGASKANAAL

4.7.1. REGELMATIG ONDERHOUD TOESTEL + ROOKGASKANAAL

→ Beschrijving

Een regelmatig onderhoud van het toestel en het rookgaskanaal draagt bij tot een continue goede werking.

Het onderhoud van een houtkachel bestaat uit het regelmatig reinigen van het glasraam en het regelmatig verwijderen van de assen. Bij een goede verbranding is de roetafzet op het glasraam beperkt, dit is bijgevolg een visuele controle van een goede verbranding. Daarnaast is een controle nodig van de vuurstenen in de verbrandingskamer, het goed sluiten van de deur en indien aanwezig het reinigen van de katalysator. Voor alle systemen wordt best een jaarlijkse controle en onderhoud uitgevoerd door een vakman. De jaarlijkse controle en het onderhoud kan gebeuren door de leverancier/installateur of een gespecialiseerd bedrijf. Bij een stookhoutkachel kan dit ook door de gebruiker zelf, het jaarlijkse onderhoud omvat het reinigen achter de isolatie, het reinigen van de luchtinlaten, het nakijken en eventueel vervangen van al de dichtingen en isolatiemateriaal en het reinigen van het rookgaskanaal (omwille van risico op schouwbrand).

Accumulatiekachels beschikken over veel kanalen waar het rookgas passeert alvorens het in de schouw terecht komt. Hierbij ook veel horizontale kanalen waardoor er extra aandacht nodig is voor het onderhoud omwille van de afzetting van roet in deze kanalen en de afname in werking en rendement die hieruit volgt.

Het reinigen van het rookgaskanaal kan ook door een schoorsteenveger uitgevoerd worden maar deze laatste kan meestal niet het onderhoud van het toestel zelf uitvoeren.

Bij pellettoestellen komt vaak een melding op het toestel zelf dat onderhoud nodig is. In sommige gevallen stopt het toestel met werken zonder onderhoud.

Voor ketels is er een wettelijke verplichting voor het onderhoud voorzien (zie paragraaf 2.3.1).

→ Toepasbaarheid

Er zijn geen beperkingen gekend.

→ Milieuvoordeel

De aanwezigheid van vuil, as, ... in de verbrandingskamer verhinderen de efficiënte verbranding van de brandstof.

→ Financiële aspecten

Het onderhoud door een deskundig vakman brengt een extra kost met zich mee.

4.8. RESULTATEN BEVRAGING

In het kader van de BBT studie werd een bevraging gelanceerd bij de fabrikanten en importeurs om een beter beeld te krijgen van de gebruikte technologieën met betrekking tot een betere verbranding en reductie van de emissies en de milieuperformantie van deze technieken. Deze bevraging werd uitgestuurd naar de leden CIV (sectorfederatie fabrikanten en importeurs van kachels en haarden) van Agoria en de leden van het bio-energieplatform van Ode. Hierbij merken we op dat deze bevraging vooral gericht is geweest naar de 'betere' merken en niet representatief is voor alle toestellen die op de markt aangeboden worden. De relatief eenvoudige modellen die bijvoorbeeld in doe het zelf zaken aangeboden worden zijn niet opgenomen in deze bevraging. Wel werd er gevraagd om de bevraging in te vullen voor zowel de duurste als goedkoopste modellen, de best presterende en de minst goed presterende toestellen. We merken op dat het de theoretische prestaties in labo omstandigheden betreft en dat dit in de praktijk erg kan afwijken (zie paragraaf 3.4.3).

Bij de bespreking van de resultaten wordt een onderscheid gemaakt tussen houtgestookte toestellen en pelletgestookte toestellen. Een samenvatting van de resultaten is toegevoegd in bijlage 5.

4.8.1. HOUTGESTOOKTE TOESTELLEN

Bij de houtgestookte toestellen (41) betreffen het allemaal kachels, er is geen informatie gegeven over houtgestookte ketels. Wel zijn er drie toestellen (2 vrijstaande kachels en 1 inbouwtoestel) die beschikken over een CV aansluiting.

Van de 41 toestellen is de verdeling volgens type toestel als volgt (allen lokale warmteafgifte met gesloten verbrandingskamer):

- inzetkachel/cassette: 4
- inbouwkachel: 18
- voorzetkachel – niet accumulerend: 13
- accumulatiekachel: 6

→ Toegepaste technieken

Uit de bevraging blijkt dat volgende technologieën reeds frequent worden toegepast:

- vlamkeerplaat wordt standaard toegepast
- isolatie van de verbrandingskamer: er wordt voornamelijk gebruik gemaakt van vuurvaste platen en vuurvaste stenen. Enkele modellen beschikken over een verbrandingskamer die verdubbeld is met gietijzeren platen als vorm van isolatie.
- Glasraam: op 1 model (voorzetkachel) na beschikken ze allen over een glasraam, waarvan 11 met dubbel glas en 1 met gecoat glas. 6 toestellen (5 inbouwkachels en 1 voorzetkachel) hebben een glasraam aan meer dan 1 zijkant, steeds enkel glas. Bij accumulatiekachels hebben 5 van de 6 modellen dubbel glas, inzetkachels hebben steeds enkel glas. Het gecoat glas komt voor bij een voorzetkachel met CV aansluiting.
- Naverbranding: het merendeel van de toestellen beschikt over een naverbranding, 1 inzetkachel (goedkoopste model) heeft geen naverbranding. 30 van de 46 toestellen beschikken over een naverbrandingszone, 10 over een aparte verbrandingskamer.
- Getrapte luchttoevoer: van de toestellen met secundaire verbranding beschikken de meeste toestellen over primaire, secundaire en glasspoellucht. Slechts 4 toestellen beschikken niet over glasspoellucht waarvan 3 inbouwkachels met glasraam aan meer dan 1 zijkant en 1 voorzetkachel zonder glas.

- De sturing van de luchttoevoer gebeurt hoofdzakelijk manueel door middel van een monoregeling.
- De luchttoevoer is bij de meeste toestellen extern door middel van natuurlijke trek. Van 34 toestellen wordt aangegeven dat ze luchtdicht zijn en 32 beschikken over een voorverwarming van de secundaire lucht.

Volgende technieken worden regelmatig toegepast in de verschillende type toestellen:

- Rooster in de verbrandingskamer komt bij 18 toestellen voor met een iets hogere frequentie bij de voorzetkachels en accumulatiekachels.
- Hittereflecterend materiaal komt voor bij alle type toestellen maar wordt niet standaard toegepast.
- Meer dan de helft van de accumulatiekachels en de voorzetkachels hebben een verticale verbrandingskamer, bij de inbouwkachels komt het beperkt voor (5 van de 18)
- Ongeveer de helft van de toestellen beschikken over een warmterecuperatiesysteem voor de rookgassen, bij de accumulatiekachels zijn dit 5 van de 6 toestellen.
- Iets meer dan de helft van de toestellen zijn getest op het werken in deellast, en dit voornamelijk bij de voorzetkachels.

De technieken die eerder sporadisch of specifiek bij een type toestel toegepast worden zijn:

- Convectieventilatoren zijn enkel aanwezig bij inzetkachels (altijd, 4 toestellen) en inbouwkachels (7 van de 18 toestellen). De sturing is meestal op basis van een temperatuursensor.
- Automatische sturing wordt beperkt toegepast en indien toegepast is een meting van de temperatuur in het rookgas de meest voorkomende sturing (totaal automatische sturing: 8 van de 41 toestellen).
- Warmteopslag in massa is specifiek voor accumulatiekachels (6 toestellen), warmteopslag in water komt voor bij de toestellen met CV aansluiting (3 toestellen).
- Katalysator of elektrofilter worden niet standaard toegepast.

→ Prestaties

De prestaties betreffen deze in labo omstandigheden, over de milieuprestaties in praktijkcondities bestaat nog grote onzekerheid (zie paragraaf 3.4.3).

Met betrekking tot het rendement is het duidelijk dat gemiddeld genomen accumulatiekachels het hoogste rendement halen. Echter bij de voorzetkachels en inbouwkachels zijn ook rendementen mogelijk die vergelijkbaar zijn met de best presterende accumulatiekachels, namelijk 90%.

Naar emissies toe zijn de verschillen groter, dit zowel tussen de verschillende merken, als tussen de verschillende types en/of toegepaste technieken.

- De emissies naar CO variëren van 317 tot 1.250 mg/Nm³ met uitzondering van 1 toestel met een emissie van 1950 mg/Nm³. Dit toestel betreft een inzetkachel zonder secundaire verbranding. Bijkomend worden bij dit toestel ook hogere emissiewaarden voor fijn stof en HC vastgesteld. Op vlak van CO emissies kan er geen onderscheid gemaakt worden op basis van vermogen, prijs of rendement. Qua type toestel, inzetkachels hebben over het algemeen hogere CO emissies dan de overige types. De laagste emissies worden gehaald bij voorzetkachels en accumulatiekachels. Bepaalde merken hebben duidelijk lagere emissies.
- Naar fijn stof toe is er geen type toestel of merk dat duidelijk lagere emissies heeft dan andere. De variatie tussen de verschillende type toestellen is gelijkaardig.
- Voor de NO_x emissies is er eveneens een gelijkaardige variatie tussen de verschillende type toestellen, enkel voor accumulatiekachels zijn de NO_x emissies altijd relatief hoger.

- Voor HC is er eveneens geen onderscheid mogelijk op basis van prijs, vermogen of rendement. Wel zijn deze emissies beduidend lager bij alle accumulatiekachels, echter bij de inzetkachels, inbouwkachels en voorzetkachels zijn eveneens toestellen beschikbaar met lage HC emissies. Bij de fabrikanten zijn er met steeds lage emissies maar eveneens met sterke variaties tussen de verschillende types toestellen.

In vergelijking met de Ecodesign richtlijn kunnen we besluiten dat op één toestel na alle toestellen voldoen aan de eisen van de Ecodesign richtlijn. Het toestel dat niet voldoet heeft geen naverbranding en hogere emissies voor CO, PM en HC.

Tabel 26 geeft een overzicht van de beste waarden die gerapporteerd werden voor de toestellen uit de bevraging. Het toestel dat niet voldoet aan de eisen van de Ecodesign richtlijn werd hierbij buiten beschouwing gelaten. In de tabel zijn eerst de waarden opgenomen op basis van de Ecodesignrichtlijn, zowel de eisen, als de indicatieve benchmark voor best presterende toestel als een voorbeeld van een goede combinatie. Vervolgens bestaat de tabel uit drie delen waarbij eerst alle toestellen uit de bevraging in beschouwing genomen zijn, en vervolgens een opsplitsing is gemaakt op basis van het vermogen, meer bepaald tussen minder of meer dan 10 kW vermogen. Voor elk van deze zijn vervolgens de volgende prestaties toegevoegd:

- best gerapporteerde prestatie per parameter
- prestaties van de toestellen met voor één of meerdere parameters respectievelijk de hoogste en laagste score van alle in de bevraging opgenomen toestellen.

Hieruit kunnen we verder besluiten dat in de bevraging er reeds toestellen zijn die per parameter beter scoren dan degene die opgenomen zijn als indicatieve benchmark best presterend toestel bij Ecodesign. Voor stookkachels zien we volgende cijfers als minimum:

- CO: 317 mg/m³
- PM: 6 mg/m³
- NOx: 44 mg/m³
- HC: 20 mg/m³
- Rendement 90,2%

Deze toestellen scoren bovendien over de hele lijn beduidend beter dan de Ecodesign eisen.

Anderzijds de modellen die het minst goed scoren zijn vaak qua emissies slechts iets beter dan de Ecodesign eisen.

Globaal genomen is het aantal toestellen op basis van de bevraging (40 toestellen) dat het voor één of meerdere parameters beter doet dan de benchmark best presterende:

- CO: 2 toestellen beter
- PM: 10 toestellen beter
- Rendement: 5 toestellen beter
- NOx: 2 toestellen beter
- HC: 8 toestellen beter

In vergelijking tot het Ecodesign voorbeeld goede combinatie, zijn er in de bevraging 3 toestellen die beter scoren voor elk van de parameters (zie Tabel 27). Alle toestellen zijn vrijstaande toestellen, de eerste twee met een cv aansluiting. Alle toestellen beschikken over een vlamkeerplaat, isolatie, naverbrandingszone, luchtdichte uitvoering, externe luchttoevoer, voorverwarming van de secundaire verbrandingslucht en warmterecuperatie. Toestel 1 en Toestel 2 beschikken verder over een rooster en respectievelijk gecoat en dubbel glas met een glasraam zo groot als de verbrandingskamer. De luchttoevoer is deels manueel geregeld (primaire luchttoevoer) en deels op basis van de CV koppeling (secundaire en glasspoellucht). Toestel 3 beschikt over hittere reflecterend materiaal en enkel glas met glas aan meer dan 1 zijde. De luchttoevoer bij dit toestel is op basis van een monoregeling. Met betrekking tot de vorm van de verbrandingskamer hebben toestel 2 en 3 een verticale verbrandingskamer.

Tabel 26: Emissiecijfers op basis van bevraging voor stookhouttoestellen

Toestellen met gesloten voorkant – andere vaste brandstof dan houtpellets (EU) 2015/1185	Seizoens-gebonden energie-efficiëntie	Stof/PM mg/m ³	CO mg/m ³	NOx mg/m ³	HC (OGC) mg/m ³
Ecodesign - eisen	65 %	40	1500	200	120
Ecodesign - indicatieve benchmark best presterend toestel	86 %	20	500	50	30
Ecodesign - voorbeeld goede combinatie	83%	33	1125	115	69
Bevraging Beste gerapporteerde prestatie per parameter	90,2%	6	317	47	20
Toestel bevraging Laagste CO Laagste HC	81%	26	317	86	20
Toestel bevraging Laagste PM toestel 1	80%	6	625	127	48
Toestel bevraging Laagste PM toestel 2	83%	6	835	99	77
Toestel bevraging Hoogste Rendement	90,2%	18	435	121	25
Toestel bevraging Hoogste NOx	83,5%	32	625	147	34
Toestel bevraging Hoogste CO toestel 1	84%	27.1	1250	112	96
Toestel bevraging Hoogste CO toestel 2	75%	14	1250	120	83
Toestel bevraging Hoogste PM	80,6%	40	1000	88	35
Toestel bevraging Laagste NOx Hoogste HC	80%	30	1140	47	110
Toestel bevraging Laagste rendement toestel 1	75%	14	1250	120	83
Toestel bevraging Laagste rendement toestel 2	75%	15	775	58	23
Bevraging Beste gerapporteerde prestatie per parameter Vermogen < 10 kW	90,2%	6	317	70	20
Toestel bevraging Laagste CO Laagste HC	81%	26	317	86	20
Toestel bevraging Laagste PM toestel 1	80%	6	625	127	48
Toestel bevraging	83%	6	835	99	77

Laagste PM toestel 2					
Toestel bevraging Hoogste Rendement	90,2%	18	435	121	25
Toestel bevraging Laagste NOx	84%	15	875	70	28
Toestel bevraging Hoogste CO Hoogste HC	84%	27.1	1250	112	96
Toestel bevraging Hoogste PM	84%	35	1021	139	53
Toestel bevraging Hoogste NOx	80,92%	26	898	146	87
Toestel bevraging Laagste rendement	75,3%	29	880	105	23
Bevraging Beste gerapporteerde prestatie per parameter Vermogen >= 10 kW	86,7	10	575	47	23
Toestel bevraging Laagste CO	76%	31	575	105	26
Toestel bevraging Laagste PM	82%	10	1087,5	99	88,7
Toestel bevraging Hoogste Rendement	86,7%	24	750	91	47
Toestel bevraging Laagste NOx Hoogste HC	80%	30	1140	47	110
Toestel bevraging Laagste HC	75%	15	775	58	23
Toestel bevraging Hoogste CO	75%	14	1250	120	83
Toestel bevraging Hoogste PM	80,6%	40	1000	88	35
Toestel bevraging Hoogste NOx	83,5%	32	625	147	34
Toestel bevraging Laagste rendement toestel 1	75%	14	1250	120	83
Toestel bevraging Laagste rendement toestel 2	75%	15	775	58	23

Tabel 27:Emissiecijfers van stookhouttoestellen uit de bevraging met prestaties beter dan het voorbeeld van goede combinatie uit de Ecodesign richtlijn

	Seizoens- gebonden energie- efficiëntie	Stof/PM mg/m ³	CO mg/m ³	NOx mg/m ³	HC (OGC) mg/m ³
Toestel 1	86,7%	24	750	91	47
Toestel 2	90,1%	22	500	90	22
Toestel 3	84%	15	875	70	28

4.8.2. PELLETGESTOOKTE TOESTELLEN

Van de 14 pelletgestookte toestellen zijn het

- 5 ketels
- 6 voorzetkachels niet accumulerend
- 3 accumulatiekachels.

Al de toestellen die enkel werken met pellets hebben een automatische brandstoftoevoer. Er zijn 2 toestellen die zowel pellets als hout kunnen verbranden.

→ Toegepaste technieken

- Uit de bevraging komt duidelijk naar voren dat de meeste technologieën frequent worden toegepast: Een vlamkeerplaat is bij alle toestellen aanwezig
- Rooster in de verbrandingskamer is bij alle toestellen aanwezig
- Luchtdichtheid van het toestel is bij alle toestellen aanwezig.
- Bij de isolatie van de verbrandingskamer zijn er twee toestellen waarvoor aangegeven is dat de isolatie bestaat uit gietijzer, al de rest heeft een isolatie uit vuurvaste stenen of platen.
- De automatische sturing van de luchttoevoer is bij de meeste toestellen op basis van een drukmeting, zeker bij de ketels. Bij de kachels is de sturing daarnaast op basis van de vlamtemperatuur of de temperatuur van het rookgas. 2 accumulatiekachels beschikken niet over een automatische sturing maar over een manuele sturing door middel van een monoregeling.
- De luchttoevoer is steeds extern, deels door middel van natuurlijke trek en deels door middel van geforceerde luchttoevoer.
- De brandstoftoevoer van pellets is steeds automatisch, bij gecombineerde toestellen is de houttoevoer handmatig.
- Met betrekking tot de naverbranding wordt er ook bij pellettoestellen voornamelijk gebruik gemaakt van een naverbrandingszone. Al de pelletketels beschikken over deze naverbrandingszone. De accumulatiekachels beschikken over een naverbrandingszone of aparte verbrandingskamer. Van de voorzetkachels zonder accumulatie wordt voor 5 van de 6 toestellen aangegeven dat ze niet beschikken over een naverbranding, echter 3 hiervan beschikken wel over primaire, secundaire en glasspoellucht. Twee systemen hebben volgens de fabrikant geen naverbranding en enkel primaire luchttoevoer, maar op vlak van de emissies behalen ze gelijkaardige resultaten als de andere systemen. Voor 1 toestel wordt aangegeven dat het niet beschikt over een warmterecuperatie van de rookgassen.
- Sommige technologieën komen steeds voor bij de pelletkachels en minder bij pelletketels. Alle kachels beschikken over hittereфлекterend materiaal, bij de ketels 2 van de 5 systemen.
- Al de 9 pelletkachels uit de bevraging beschikken over een glasraam dat even groot of kleiner is dan de verbrandingskamer, 4 daarvan zijn met dubbel glas. Ketels beschikken niet over een glasraam. De meeste kachels (8 van de 9) beschikken ook over een verticale verbrandingskamer, bij de ketels zijn dit er slechts 2 van de 5.

Technieken die slechts sporadisch voorkomen zijn:

- 3 modellen van de pelletkachels beschikken over een geïntegreerde rookgasventilator.
- Convectieventilatoren komen zelden voor, slechts bij twee voorzetkachels zonder accumulatie.
- Katalysator of elektrofilter worden niet toegepast in de toestellen uit de bevraging.

→ Prestaties

De prestaties betreffen deze in labo omstandigheden, over de milieuprestaties in praktijkcondities bestaat nog grote onzekerheid.

Met betrekking tot de emissies is duidelijk dat deze voor CO, PM en HC meestal veel lager zijn dan bij de houtgestookte toestellen. Voor 2 accumulatiekachels die zowel pellets als hout kunnen verbranden zijn de emissies vergelijkbaar met deze van de houtgestookte toestellen. Het rendement van de ketels is ook duidelijk hoger dan deze van de kachels.

Conform de vergelijking tussen de stookhoutgestookte toestellen uit de bevraging en de Ecodesign eisen, werd deze vergelijking ook gemaakt voor pelletkachels (zie Tabel 28) en pelletketels (zie Tabel 29). Hierbij wordt opgemerkt dat de Ecodesign richtlijn bij het 'voorbeeld van goede combinatie' niet vermeldt om welk type toestel het gaat, en dat emissiecijfers voor het voorbeeld van goede combinatie voor sommige parameters hoger zijn dan de emissie-eisen voor pelletkachels.

Uit de analyse kunnen we besluiten dat alle pellettoestellen in de bevraging voldoen aan de Ecodesign eisen. In vergelijking met de indicatieve benchmark best presterend toestel zijn er parameters waarvoor er beter gescoord wordt maar ook parameters waarvoor er in de bevraging geen toestellen opgenomen zijn die beter zijn dan de indicatieve benchmark. Voor NO_x en het rendement zijn er geen betere toestellen bij de pelletkachels. Bij de pelletketels zijn er geen betere toestellen voor CO, PM en HC. Voor de parameters met betere score vermelden we volgende aantallen op basis van de bevraging:

Pelletkachel: (7 van de 9 toestellen in beschouwing genomen die enkel pellet zijn, de combi toestellen met hout zijn buiten beschouwing gelaten)

- CO: 6 toestellen beter
- PM: 3 toestellen beter
- HC: al de 6 toestellen beter

Pellet ketel:

- Rendement: al de 5 toestellen beter
- NO_x: 2 toestellen beter

Tabel 28: Emissiecijfers op basis van bevraging voor pelletkachels

Toestellen met gesloten voorkant – brandstof houtpellets (EU) 2015/1185	Seizoens-gebonden energie-efficiëntie	Stof/PM mg/m ³	CO mg/m ³	NO _x mg/m ³	HC mg/m ³
Ecodesign - eisen	79%	20	300	200	20
Ecodesign - indicatieve benchmark best presterend toestel	94%	10	250	50	10
Ecodesign - voorbeeld goede combinatie	91%	22	312	121	22
Bevraging Beste gerapporteerde prestatie per parameter	93,6 %	5	14	109	1

Toestel bevraging Laagste CO Laagste PM Hoogste HC	90,5%	5	14	112	6
Toestel bevraging Laagste NOx Hoogste rendement	93,6	16	37	109	4
Toestel bevraging Laagste HC	90,9%	17	27	142	1
Toestel bevraging Laagste rendement	90,3	16	43	123,5	<3
Toestel bevraging Hoogste CO Hoogste NOx	93,2%	8	84	146	<3
Toestel bevraging Hoogste PM	92,7%	18	46	114,5	<3

Tabel 29: Emissiecijfers op basis van bevraging voor pelletketels

Brandstofketels op vaste brandstoffen – automatisch gestookt (EU) 2015/1189	Seizoens- gebonden energie- efficiëntie	Stof/PM mg/m ³	CO mg/m ³	NOx mg/m ³	HC mg/m ³
Ecodesign - eisen	75% (>20 kW) 77% (>20 kW)	40	500	200	20
Ecodesign - indicatieve benchmark best presterend toestel	96% voor koppeling WKK 90% voor met rookgascondensor 84% overige ketels	2	6	97	1
Ecodesign - voorbeeld goede combinatie	81%	7	6	120	2
Bevraging Beste gerapporteerde prestatie per parameter	107,3	9	9	92	1
Toestel bevraging Laagste CO Hoogste NOx Laagste HC Hoogste rendement	107,3%	13	9	123	<1
Toestel bevraging Laagste PM Laagste NOx Laagste rendement	93,4%	9	22	92	1
Toestel bevraging Hoogste CO Hoogste PM Hoogste HC	95,3%	19	45	106	1

In vergelijking met het voorbeeld van goede combinatie zijn er 2 pelletkachels (zie Tabel 30) die beter scoren over de hele lijn maar geen enkele ketel die beter scoort. Beide toestellen zijn vrijstaande

toestellen met een vlamkeerplaat, rooster, isolatie, hittereflecterend materiaal, enkel glas, verticale verbrandingskamer, luchtdichte uitvoering, externe luchttoevoer en warmterecuperatie. Het glasraam van het eerste toestel is gelijk aan de grootte van de verbrandingskamer, bij het tweede toestel is dit kleiner. Toestel 1 heeft enkel een primaire luchttoevoer welke geregeld wordt door middel van een drukmeting. Toestel twee heeft ook secundaire en glasspoellucht welke geregeld wordt aan de hand van een meting van de vlamtemperatuur. Verder beschikt toestel 2 ook nog over een voorverwarming van de secundaire lucht en een geïntegreerde rookgasventilator.

Tabel 30: Emissiecijfers van pelletkachels uit de bevraging met prestaties beter dan het voorbeeld van goede combinatie uit de Ecodesign richtlijn

	Seizoens- gebonden energie- efficiëntie	Stof/PM mg/m ³	CO mg/m ³	NOx mg/m ³	HC (OGC) mg/m ³
Toestel 1	93,6	16	37	109	4
Toestel 2	92,7%	18	46	114,5	<3

HOOFDSTUK 5. SELECTIE VAN DE BESTE BESCHIKBARE TECHNIEKEN

In dit hoofdstuk evalueren we de milieuvriendelijke technieken uit hoofdstuk 4 naar hun technische haalbaarheid, milieu-impact en economische haalbaarheid, en geven we aan of de aangehaalde milieuvriendelijke technieken al dan niet als BBT aanzien kunnen worden voor huishoudelijke houtverwarming.

De BBT-selectie in dit hoofdstuk mag niet als een losstaand gegeven gebruikt worden, maar moet in het globale kader van de studie gezien worden. Dit betekent dat men zowel rekening dient te houden met de beschrijving van de milieuvriendelijke technieken in hoofdstuk 4 als met de vertaling van de BBT-selectie naar aanbevelingen in hoofdstuk 6.

5.1. EVALUATIE VAN DE BESCHIKBARE MILIEUVRIENDELIJKE TECHNIEKEN

In Tabel 31 worden de beschikbare milieuvriendelijke technieken uit hoofdstuk 4 getoetst aan een aantal criteria. Deze multi-criteria analyse laat toe te oordelen of een techniek als Beste Beschikbare Techniek (BBT) kan beschouwd worden. De criteria hebben niet alleen betrekking op de milieucompartimenten (lucht, geur, water, energie, afval, ...), maar ook de technische haalbaarheid en de economische aspecten worden beschouwd. Dit maakt het mogelijk een integrale evaluatie te maken, conform de definitie van BBT (cf. Hoofdstuk 1).

Toelichting bij de inhoud van de criteria in Tabel 31:

→ Technische haalbaarheid

- bewezen: geeft aan of de techniek effectief toegepast wordt:
 - “-”: niet bewezen;
 - “+”: wel bewezen;
- algemeen toepasbaar: geeft aan of de techniek zonder technische beperkingen algemeen toepasbaar is voor elk type toestel en elk profiel van gebruiker:
 - “-”: niet algemeen toepasbaar;
 - “+”: wel algemeen toepasbaar;
- veiligheid: geeft aan of de techniek, bij correcte toepassing van de gepaste veiligheidsmaatregelen, aanleiding geeft tot een verhoging van de risico's op brand, ontploffing en arbeidsongevallen in het algemeen:
 - “-”: verhoogt risico;
 - “0”: verhoogt risico niet;
 - “+”: verlaagt risico;
- kwaliteit: geeft aan of de techniek een invloed heeft op de kwaliteit (bv. betrouwbare werking of levensduur van het toestel)
 - “-”: verlaagt kwaliteit;
 - “0”: geen effect op kwaliteit;
 - “+”: verhoogt kwaliteit;
- globaal: schat de globale technische haalbaarheid van de techniek in:

- “+”: als voorgaande alle “+” of “0”;
- “-/+”: als voorgaande alle “+” of “0” en toepasbaarheid “-”;
- “-”: als minstens één van voorgaande (behalve toepasbaarheid) “-”.

→ Milieuvoordeel

- afvalwater: inbreng van verontreinigde stoffen in het water ten gevolge van huishoudelijke houtverwarming;
- lucht (VOS+PAK, stof, CO): inbreng van verontreinigde stoffen in de atmosfeer ten gevolge van huishoudelijke houtverwarming;
- geur: geurhinder ten gevolge van huishoudelijke houtverwarming;
- afval: het ontstaan van afvalstromen ten gevolge van huishoudelijke houtverwarming;
- energie: energetisch rendement van huishoudelijke houtverwarming en gebruik van elektriciteit;
- globaal: ingeschatte invloed op het gehele milieu.

Per techniek wordt voor elk van bovenstaande criteria een kwalitatieve beoordeling gegeven, waarbij:

- “-”: negatief effect;
- “0”: geen/verwaarloosbare impact;
- “+”: positief effect;
- “+/-”: soms een positief effect, soms een negatief effect.

→ Economische haalbaarheid

- “+”: de techniek werkt kostenbesparend;
- “0”: de techniek heeft een verwaarloosbare invloed op de kosten;
- “-”: de techniek leidt tot een verhoging van de kosten, de bijkomende kosten worden draagbaar geacht voor de gebruiker en staan in een redelijke verhouding ten opzichte van de gerealiseerde milieuwinst;
- “- -”: de techniek leidt tot een verhoging van de kosten, de bijkomende kosten worden niet draagbaar geacht voor de gebruiker, of staan niet in een redelijke verhouding ten opzichte van de gerealiseerde milieuwinst.

Uiteindelijk wordt in de laatste kolom telkens beoordeeld of de beschouwde techniek als beste beschikbare techniek kan geselecteerd worden (BBT: ja of BBT: nee). Waar dit sterk afhankelijk is van specifieke omstandigheden wordt BBT: vgtg (van geval tot geval) als beoordeling gegeven.

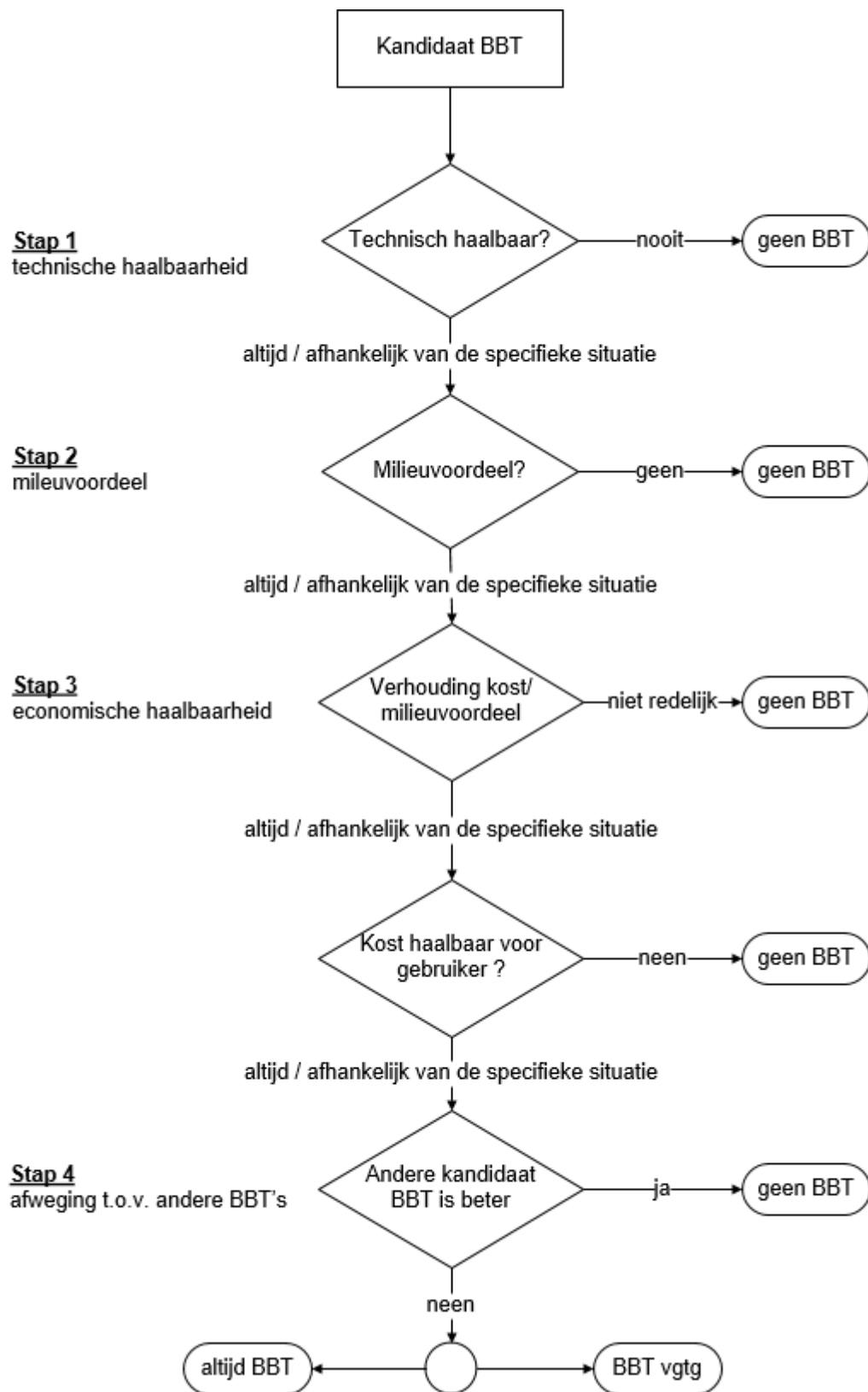
Het proces dat gevolgd wordt bij de BBT-selectie, is schematisch voorgesteld in onderstaande figuur:

- Eerst wordt nagegaan of de techniek (de zogenaamde “kandidaat BBT”) technisch haalbaar is, waarbij rekening wordt gehouden met de kwaliteit van het product en de veiligheid (stap 1).
- Wanneer de techniek technisch haalbaar is, wordt nagegaan wat het effect is op de verschillende milieucompartimenten (stap 2). Door een afweging van de effecten op de verschillende milieucompartimenten te doen, kan een globaal milieuoordeel geveld worden. Om dit laatste te bepalen worden de volgende elementen in rekening gebracht:

Zijn één of meerdere milieuscores positief en géén negatief, dan is het globaal effect steeds positief;

Zijn er zowel positieve als negatieve scores dan is het globaal milieu-effect afhankelijk van de volgende elementen:

- de verschuiving van een minder controleerbaar naar een meer controleerbaar compartiment (bijvoorbeeld van lucht naar afval);
 - relatief grotere reductie in het ene compartiment ten opzichte van toename in het andere compartiment;
 - de wenselijkheid van reductie gesteld vanuit het beleid; onder andere afgeleid uit de milieukwaliteitsdoelstellingen voor water, lucht,...(bijvoorbeeld “distance-to-target” benadering).
- Wanneer het globaal milieu-effect positief is, wordt nagegaan of de techniek bijkomende kosten met zich meebrengt, of deze kosten in een redelijke verhouding staan tot de bereikte milieuwinst (stap 3).
 - Kandidaat BBT die onderling niet combineerbaar zijn (omdat combinatie niet mogelijk of niet zinvol is) worden onderling met elkaar vergeleken, en enkel de beste wordt als kandidaat BBT weerhouden (stap 4).
 - Uiteindelijk wordt beoordeeld of de beschouwde techniek als beste beschikbare techniek (BBT) kan geselecteerd worden (stap 5). Een techniek is BBT indien hij technisch haalbaar is, een verbetering brengt voor het milieu (globaal gezien), economisch haalbaar is (beoordeling “-“ of hoger), en indien er geen “betere” kandidaat BBT bestaan. Waar dit sterk afhankelijk is van de beschouwde situatie kunnen aan de BBT-selectie randvoorwaarden gekoppeld worden.



Figuur 36: Selectie van BBT op basis van scores voor verschillende criteria

→ Belangrijke opmerkingen bij de interpretatie van Tabel 31

Bij de interpretatie van onderstaande tabel mag men volgende aandachtspunten niet uit het oog verliezen:

- De beoordeling van de diverse criteria is onder meer gebaseerd op:
 - ervaring van exploitanten met deze techniek;
 - BBT-selecties uitgevoerd in andere (buitenlandse) vergelijkbare studies;
 - adviezen gegeven door het begeleidingscomité.
 - inschattingen door de auteurs
 - Waar nodig, wordt in een voetnoot bijkomende toelichting verschaft.
- De beoordeling van de criteria is als indicatief te beschouwen, en is niet noodzakelijk in elk individueel geval van toepassing. De beoordeling ontslaat een toestelbouwer, installateur of gebruiker dus geenszins van de verantwoordelijkheid om b.v. te onderzoeken of de techniek in zijn/haar specifieke situatie technisch haalbaar is, de veiligheid niet in gevaar brengt, geen onacceptabele milieuhinder veroorzaakt of overmatig hoge kosten met zich meebrengt. Tevens is bij de beoordeling van een techniek aangenomen dat steeds de gepaste veiligheids-/milieubeschermdende maatregelen getroffen worden.
- De tabel mag niet als een losstaand gegeven gebruikt worden, maar moet in het globale kader van de studie gezien worden. Dit betekent dat men zowel rekening dient te houden met de beschrijving van de milieuvriendelijke technieken in hoofdstuk 4 als met de tekstuele samenvatting van de conclusies over BBT in paragraaf 5.2) en met de vertaling van de tabel naar aanbevelingen in hoofdstuk 6.

Specifiek voor deze studie dienen de beoordelingen BBT en BBT vgtg (van geval tot geval) als volgt te worden begrepen:

- BBT: de techniek wordt voor de betrokken type toestellen als noodzakelijk beschouwd om de met de BBT geassocieerde performantieniveaus te behalen (zie paragraaf 5.2), en zou dus standaard aanwezig moeten zijn.
- BBT vgtg: de techniek kan bijdragen tot het behalen van de met de BBT geassocieerde performantieniveaus, maar is niet noodzakelijk in elk toestel aanwezig. De redenen waarom technieken als BBT vgtg worden beoordeeld zijn divers. Meer toelichting hierbij is te vinden in de voetnoten bij Tabel 31 en in de tekstuele samenvatting van de BBT-evaluatie in paragraaf 5.2.

Tabel 31: Evaluatie van beschikbare milieuvriendelijke technieken en selectie van BBT

Techniek	Technische haalbaarheid					Milieuvoordeel										Economische haalbaarheid	BBT hout
	Bewezen	Veiligheid	Algemeen toepasbaar	Kwaliteit	Globaal	Afvalwater	Geur	VOS+PAK	Stof	CO	Afval	Energie-rendement	Energie elektriciteitsverbruik	Globaal			
4.1 Ontwerp van nieuwe toestellen – Primaire maatregelen																	
4.1.1 Vlamkeerplaat	+	0	+	0	+	0	+	+	+	+	0	+	0	+	0	Ja	
4.1.2 Rooster in de verbrandingskamer – stukhout	+	0	-	0	+/- ¹¹	0	+/-	+/-	+/-	+/-	0	+/-	0	+/-	0	Vgtg	
4.1.2 Rooster in de verbrandingskamer - pellets	+	0	+	0	+	0	+	+	+	+	0	+	0	+	0	Ja	
4.1.3 Isolatie van de verbrandingskamer(s)	+	0	+	0	+	0	+	+	+	+	0	+	0	+	0	Ja	
4.1.4 Gebruik van hitte reflecterend materiaal in de verbrandingskamer	+	0	-	0	+/- ¹²	0	+	+	+	+	0	+	0	+	0/-	Vgtg	

¹¹ Afhankelijk van de gekozen strategie van de toestelbouwer (wijze waarop technieken precies worden uitgewerkt en met elkaar gecombineerd) is een rooster al dan niet aangewezen bij toestellen voor stukhout.

¹² Afhankelijk van de gekozen strategie van de toestelbouwer (wijze waarop technieken precies worden uitgewerkt en met elkaar gecombineerd) is hittereflecterend materiaal al dan niet aangewezen.

Techniek	Technische haalbaarheid					Milieuvoordeel										Economische haalbaarheid	BBT hout
	Bewezen	Veiligheid	Algemeen toepasbaar	Kwaliteit	Globaal	Afvalwater	Geur	VOS+PAK	Stof	CO	Afval	Energie-rendement	Energie elektriciteitsverbruik	Globaal			
4.1.5 Indien glasraam aanwezig, glasraam met beperkte oppervlakte.	+	0	-	0	+/- ¹³	0	+	+	+	+	0	+	0	+	0	Vgtg	
4.1.5 Indien glasraam aanwezig, dubbel, driedubbel of gecoat glas.	+	0	+	0	+	0	+	+	+	+	0	+	0	+	-/-- ¹⁴	Vgtg	
4.1.6 Verticale verbrandingskamer	+	0	-	0	+/- ¹⁵	0	+	+	+	+	0	+	0	+	0	Vgtg	
4.1.7 Aanwezigheid van een 2e verbrandingskamer of verbrandingszone/-kanaal voor de naverbranding	+	0	+	0	+	0	+	+	+	+	0	+	0	+	0/-	Ja	
4.1.8 Getrapte luchttoevoer	+	0	+	0	+	0	+	+	+	+	0	+	0	+	0	Ja	

¹³ Technisch gezien is een glasraam met beperkte oppervlakte aan te bevelen, echter bij toestellen die gebruikt worden voor sfeerverwarming is een groot/groter glasraam gewenst omwille van het vuurzicht.

¹⁴ Technisch gezien is het gebruik van dubbel, driedubbel of gecoat glas aangewezen, zeker als het grote glasramen betreft. Dit betekent echter een meerkost voor het toestel, die afhankelijk van het profiel van de gebruiker wel of niet in een redelijke verhouding staat tegenover de verbeterde milieuprestaties.

¹⁵ Een verticale verbrandingskamer is niet toepasbaar bij elk toestel, bijvoorbeeld bij een inzetkachel of cassette is geen verticale verbrandingskamer mogelijk omwille van de beperkte ruimte. Bij sfeerkachels waar het visuele aspect speelt kan een horizontale verbrandingskamer gewenst zijn. Voor pelletgestookte, vrijstaande toestellen is een verticale verbrandingskamer BBT.

Techniek	Technische haalbaarheid					Milieuvoordeel										Economische haalbaarheid	BBT hout
	Bewezen	Veiligheid	Algemeen toepasbaar	Kwaliteit	Globaal	Afvalwater	Geur	VOS+PAK	Stof	CO	Afval	Energie-rendement	Energie elektriciteitsverbruik	Globaal			
4.1.9 Sturing luchttoevoer - monoregeling luchttoevoer - stukhout	+	0	+	0	+	0	+	+	+	+	0	+	0	+	0/-	Ja ¹⁶	
4.1.10 Sturing luchttoevoer - Automatisch regeling van luchttoevoer en luchtcirculatie -stukhout	+	0	+	0	+	0	+	+	+	+	0	+	-	0	-/-- ¹⁷	Vgtg	
4.1.10 Sturing luchttoevoer - Automatisch regeling van luchttoevoer en luchtcirculatie - pellets	+	0	+	0	+	0	+	+	+	+	0	+	-	0	-	Ja	
4.1.11 Luchtdichte uitvoering van het toestel	+	0	+	0	+	0	+	+	+	+	0	+	0	+	0/-	Ja	
4.1.12 Voorverwarming toevoerlucht verbranding	+	0	+	0	+	0	+	+	+	+	0	+	0	+	0/-	Ja	

¹⁶ Sturing van de luchttoevoer op basis van een monoregeling is BBT voor stukhout gestookte toestellen, tenzij er gebruik gemaakt wordt van een automatische regeling voor de luchttoevoer.

¹⁷ Het automatiseren van de luchttoevoer bij stukhoutgestookte toestellen heeft een meerkost, die afhankelijk van het profiel van de gebruiker wel of niet in een redelijke verhouding staat tegenover de verbeterde milieuprestaties. Een automatische sturing is aangewezen bij toestellen die gebruikt worden als hoofdverwarming.

Techniek	Technische haalbaarheid					Milieuvoordeel										Economische haalbaarheid	BBT hout
	Bewezen	Veiligheid	Algemeen toepasbaar	Kwaliteit	Globaal	Afvalwater	Geur	VOS+PAK	Stof	CO	Afval	Energie-rendement	Energie elektriciteitsverbruik	Globaal			
4.1.13 Warmterecuperatiesysteem rookgassen	+	0	-	0	+/- ¹⁹	0	+	+	+	+	0	+	0	+	-/-- ²⁰	Vgtg	
4.1.14 Het zoveel mogelijk stoken bij nominale belasting stimuleren door toestellen aan te bieden in verschillende vermogensklassen en met aangepast vermogensbereik	+	0	+	0	+	0	+	+	+	+	0	+	0	+	0	Ja ²¹	
4.1.15 Automatische brandstoftoevoer - stookhouttoestellen	+	0	-	0	+/- ²²	0	+	+	+	+	0	+	0	+	0/-- ²³	Vgtg	
4.1.15 Automatische brandstoftoevoer- pellettoestellen	+	0	+	0	+	0	+	+	+	+	0	+	0	+	0 ²⁴	Ja	

¹⁹ Afhankeijk van de door de toestelbouwer gekozen strategie (wijze waarop technieken precies worden uitgewerkt en met elkaar gecombineerd) en de nodige ruimte voor een systeem van warmterecuperatie is warmterecuperatiesysteem rookgassen al dan niet aangewezen.

²⁰ De economische haalbaarheid (terugverdiendtijd) is afhankelijk van de specifieke situatie.

²¹ Toestellen die gebruikt worden voor sfeerverwarming beschikken doorgaans over een grotere verbrandingskamer en groter vermogen dan nodig omwille van het vuurzicht dat gewenst is.

²² Automatische brandstoftoevoer wordt niet standaard toegepast en stelt eisen qua vorm en grootte aan het brandhout.

²³ Toestellen op stookhout met automatische brandstoftoevoer hebben een significante meerkost. De meerkost staat, afhankelijk van de toepassing en het profiel van de gebruiker, wel of niet in redelijke verhouding tegenover de verbeterde milieuprestaties.

²⁴ Bij pellettoestellen is er steeds een automatische brandstoftoevoer en bijgevolg is hier geen meerkost.

Techniek	Technische haalbaarheid					Milieuvoordeel										Economische haalbaarheid	BBT hout
	Bewezen	Veiligheid	Algemeen toepasbaar	Kwaliteit	Globaal	Afvalwater	Geur	VOS+PAK	Stof	CO	Afval	Energie-rendement	Energie elektriciteitsverbruik	Globaal			
4.1.16 Geavanceerde controle verbrandingsproces op basis van de kamertemperatuur en weersomstandigheden	+	0	-	0	+/- ²⁵	0	+	+	+	+	0	+	0	+	-/--	Vgtg	
4.2 Ontwerp van nieuwe toestellen – Secundaire maatregelen																	
4.2.1 Katalysator	+	0	-	0	+/- ²⁶	-	+	+	+	+	-	0	0	+ ²⁷	-/- ²⁸	Vgtg	

²⁵ Geavanceerde controle verbrandingsproces wordt nog maar sporadisch toegepast. De verwachting is dat het verbrandingsproces nog meer geoptimaliseerd kan worden en de emissies nog verder dalen.

²⁶ Afhankelijk van de door de toestelbouwer gekozen strategie (wijze waarop technieken precies worden uitgewerkt en met elkaar gecombineerd) is het BBT om een katalysator te integreren in een nieuw toestel. De goede werking van de techniek is sterk afhankelijk van het gebruikersgedrag (bv. regelmatig onderhoud), en daarom enkel geschikt voor gebruikers die bereid zijn de nodige inspanningen hiervoor te leveren.

²⁷ Het gebruik van een katalysator kan mogelijk wel de emissies van schadelijke stoffen (chloorfenol en dioxines) verhogen. Een studie uit Finland (Kaivosoja, et al., 2012) gaf verhogingen van een factor 4,3 en 8,7 voor chlorofenol en dioxines, respectievelijk. De reden hiervoor is het katalytisch effect van Pt en Pd op de vorming van deze gevaarlijke stoffen. Deze test werd uitgevoerd op een slecht werkende saunakachel; het is dus nog onduidelijk of de vorming van gevaarlijke stoffen een risico is bij goed werkende verbrandingstoestellen.

²⁸ De techniek heeft een significante meerkost, die afhankelijk van het profiel van de gebruiker (bv. hoofdverwarming versus bij- of sfeerverwarming) wel of niet in een redelijke verhouding staat tegenover de verbeterde milieuprestaties.

Techniek	Technische haalbaarheid					Milieuvoordeel										Economische haalbaarheid	BBT hout
	Bewezen	Veiligheid	Algemeen toepasbaar	Kwaliteit	Globaal	Afvalwater	Geur	VOS+PAK	Stof	CO	Afval	Energie-rendement	Energie elektriciteitsverbruik	Globaal			
4.2.2 Elektrofilter	+	0	-	0	+/- ²⁹	0	0	0	+	0	-	0	-	+	-/-- ³⁰	Vgtg	
4.3 Bestaande toestellen – Primaire maatregelen																	
Warmterecuperatiesysteem rookgassen	+	0	-	0	+/- ³¹	0	+	+	+	+	0	+	0	+	-/-- ³²	Vgtg	
Warmteopslag	+	0	-	0	+/- ³³	0	+	+	+	+	0	+	0	+	-/-- ³⁴	Vgtg	

²⁹ Afhankelijk van de door de toestelbouwer gekozen strategie (wijze waarop technieken precies worden uitgewerkt en met elkaar gecombineerd) is het BBT om een elektrofilter te integreren in een nieuw toestel. De goede werking van de techniek is sterk afhankelijk van gebruikersgedrag (regelmatig onderhoud en correct stookgedrag), en daarom enkel geschikt voor gebruikers die bereid zijn de nodige inspanningen hiervoor te leveren.

³⁰ De techniek heeft een significante meerkost, die afhankelijk van het profiel van de gebruiker (bv. hoofdverwarming versus bij- of sfeerverwarming) wel of niet in een redelijke verhouding staat tegenover de verbeterde milieuprestaties.

³¹ Afhankelijk van de bestaande situatie en de nodige ruimte voor een systeem van warmterecuperatie is een warmterecuperatiesysteem op de rookgassen al dan niet mogelijk.

³² Voor oude, vervuilende toestellen moet in elk geval een afweging gebeuren tussen de aankoop van een nieuw performanter toestel (met niet alleen lagere emissies, maar ook een hogere energie-efficiëntie) en het plaatsen van een warmterecuperatiesysteem rookgassen op een oud toestel.

³³ Afhankelijk van de bestaande situatie is warmteopslag mogelijk.

³⁴ Voor oude, vervuilende toestellen moet in elk geval een afweging gebeuren tussen de aankoop van een nieuw performanter toestel (met niet alleen lagere emissies, maar ook een hogere energie-efficiëntie) en het plaatsen van een warmteopslag op een oud toestel.

Techniek	Technische haalbaarheid					Milieuvoordeel										Economische haalbaarheid	BBT hout
	Bewezen	Veiligheid	Algemeen toepasbaar	Kwaliteit	Globaal	Afvalwater	Geur	VOS+PAK	Stof	CO	Afval	Energie-rendement	Energie elektriciteitsverbruik	Globaal			
Geforceerde trek	+	0	-	0	+/- ³⁵	0	+	+	+	+	0	0	-	+	- ³⁶	Vgtg	
4.4 Bestaande toestellen – Secundaire maatregelen																	
4.4.1 Katalysator	+	0	-	0	+/- ³⁷	-	+	+	+	+	-	0	0	+ ³⁸	-/- ³⁹	Vgtg	

³⁵ Enkel van toepassing indien onvoldoende trek in het rookgaskanaal.

³⁶ Voor oude, vervuilende toestellen moet in elk geval een afweging gebeuren tussen de aankoop van een nieuw performanter toestel (met niet alleen lagere emissies, maar ook een hogere energie-efficiëntie) en het plaatsen van een geforceerde trek op een oud toestel.

³⁷ Het plaatsen van een katalysator is technisch toepasbaar indien er een gesloten en goed bereikbaar rookgaskanaal is vlakbij de verbrandingsruimte, en het verbrandingstoestel correct werkt (zonder gebreken). De goede werking van de techniek is sterk afhankelijk van gebruikersgedrag (bv. regelmatig onderhoud, een correct stookgedrag), en daarom enkel geschikt voor gebruikers die bereid zijn de nodige inspanningen hiervoor te leveren.

³⁸ Het gebruik van een katalysator kan mogelijk wel de emissies van schadelijke stoffen (chloorfenol en dioxines) verhogen. Een studie uit Finland (Kaivosoja, et al., 2012) gaf verhogingen van een factor 4,3 en 8,7 voor chlorofenol en dioxines, respectievelijk. De reden hiervoor is het katalytisch effect van Pt en Pd op de vorming van deze gevaarlijke stoffen. Deze test werd uitgevoerd op een slecht werkende saunakachel; het is dus onduidelijk of de vorming van gevaarlijke stoffen een risico is bij goed werkende verbrandingstoestellen.

³⁹ De techniek heeft een significante meerkost (vanaf €370, exclusief installatie), die afhankelijk van het profiel van de gebruiker (bv. hoofdverwarming versus bij- of sfeerverwarming) en de leeftijd/milieuprestaties van het toestel wel of niet in een redelijke verhouding staat tegenover de verbeterde milieuprestaties. Voor oude, vervuilende toestellen moet in elk geval een afweging gebeuren tussen de aankoop van een nieuw performanter toestel (met niet alleen lagere emissies, maar ook een hogere energie-efficiëntie) en het plaatsen van een katalysator (zie bespreking onder paragraaf 5.2.5).

Techniek	Technische haalbaarheid					Milieuvoordeel										Economische haalbaarheid	BBT hout
	Bewezen	Veiligheid	Algemeen toepasbaar	Kwaliteit	Globaal	Afvalwater	Geur	VOS+PAK	Stof	CO	Afval	Energie-rendement	Energie elektriciteitsverbruik	Globaal			
4.4.2 Elektrofilter	+	0	-	0	+/- ⁴⁰	0	0	0	+	0	-	0	-	+	-/- ⁴¹	Vgtg	
4.5 Installatie van toestellen																	
4.5.1 Keuze van het toestel in functie van de behoefte	+	0	+	0	+	0	+	+	+	+	0	+	0	+	0	Ja	
4.5.2 Goede plaatsing van het toestel	+	+	+	+	+	0	+	+	+	+	0	+	0	+	0	Ja	
4.5.3 Externe luchttoevoer	+	+	-	0	+/- ⁴³	0	+	+	+	+	0	+	0	+	-	Vgtg	
4.5.4 Goede plaatsing van het rookgaskanaal	+	+	+	0	+	0	+	+	+	+	0	+	0	+	0/-	Ja	
4.5.5 Isolatie van het rookgaskanaal	+	+	+	0	+	0	+	+	+	+	0	+	0	+	0/-	Ja	
4.5.6 Geforceerde trek voor voldoende luchttoevoer in de verbrandingskamer	+	0	+	0	+ ⁴⁴	0	+	+	+	+	0	0	-	+	-	Vgtg	

⁴⁰ Het plaatsen van een elektrofilter is technisch toepasbaar onder bepaalde randvoorwaarden (bv diameter rookgaskanaal) . De goede werking van de techniek is sterk afhankelijk van gebruikersgedrag (bv. regelmatig onderhoud én correct stookgedrag), en daarom enkel geschikt voor gebruikers die bereid zijn de nodige inspanningen hiervoor te leveren.

⁴¹De techniek heeft een significante meerkost (€1.500 – 2.200 incl. installatie), die afhankelijk van het profiel van de gebruiker (bv. hoofdverwarming versus bij- of sfeerverwarming) en de leeftijd/milieuprestaties van het toestel wel of niet in een redelijke verhouding staat tegenover de verbeterde milieuprestaties. Voor oude, vervuilende toestellen moet in elk geval een afweging gebeuren tussen de aankoop van een nieuw performanter toestel (met niet alleen lagere emissies, maar ook een hogere energie-efficiëntie) en het plaatsen van een ESP (zie bespreking onder paragraaf 5.2.5).

⁴³ Luchtdichte woonruimtes vereisen een externe luchttoevoer. Externe luchttoevoer is niet in alle omstandigheden mogelijk afhankelijk van de locatie van het toestel en de bestaande woning.

⁴⁴ Enkel van toepassing indien onvoldoende trek in het rookgaskanaal.

Techniek	Technische haalbaarheid					Milieuvoordeel										Economische haalbaarheid	BBT hout
	Bewezen	Veiligheid	Algemeen toepasbaar	Kwaliteit	Globaal	Afvalwater	Geur	VOS+PAK	Stof	CO	Afval	Energie-rendement	Energie elektriciteitsverbruik	Globaal			
4.5.7 Plaatsing door een deskundige installateur	+	+	+	0	+	0	+	+	+	+	0	+	0	+	-	Ja	
4.5.8 Droge en verluchte opslagruimte voor hout voorzien (binnen of buiten)	+	0	+	0	+	0	+	+	+	+	0	+	0	+	0/-	Ja	
4.6 Gebruik van toestellen																	
4.6.1 Opvolgen van stooktips	+	0	+	+	+	0	+	+	+	+	0	+	0	+	0	Ja	
4.6.2 Houtverbranding beperken bij hoge fijn stofconcentraties en ongunstige weersomstandigheden	+	0	+	0	+	0	+	+	+	+	0	0	0	+	0	Ja	
4.6.3 Instructies fabrikant volgen	+	0	+	+	+	0	+	+	+	+	0	+	0	+	0	Ja	
4.7 Onderhoud van toestellen en rookgaskanaal																	
4.7.1 Regelmatig onderhoud toestel + rookgaskanaal	+	+	+	+	+	0	+	+	+	+	0	+	0	+	-	Ja	

5.2. CONCLUSIES

De conclusies van de BBT-evaluatie voor huishoudelijke houtverwarming in Tabel 31 kunnen als volgt worden samengevat.

5.2.1. BBT VOOR HET ONTWERP VAN NIEUWE TOESTELLEN

Om de verbrandingscondities te optimaliseren, de vorming van emissies te beperken en de energie-efficiëntie te optimaliseren, is het BBT om bij het ontwerp van nieuwe toestellen een combinatie van technieken (maatregelen) toe te passen. De manier waarop de maatregelen precies uitgewerkt en met elkaar gecombineerd worden, behoort tot de technische know-how van de diverse kachelbouwers. Verschillende kachelbouwers maken hierin verschillende keuzes die kunnen leiden tot evenwaardige milieuprestaties. Het is niet de bedoeling van de BBT-studie om hierin beperkend te werken.

Toestellen worden zodanig ontworpen dat ze onder genormeerde testomstandigheden voldoen aan de geldende eisen inzake emissies en energie-efficiëntie. Milieuprestaties in reële gebruiksomstandigheden (onder wisselende en niet steeds optimale verbrandingscondities) zullen minder goed zijn dan deze die gemeten worden in labo's onder genormeerde testomstandigheden. De punten waarop de testprocedures onder meer afwijken van reële omstandigheden zijn:

- Zelden meenemen van opstart (en uitdoven)
- Meestal niet meenemen van stoken in deellast
- Doorgaans niet meten van de condenseerbare fractie van stof
- Ideale onderdruk
- Ideale brandstofkwaliteit (vochtgehalte, geen schors,)
- Ideale houtsoorten (bv. geen harshoudende naaldhoutblokken)
- Ideale brandstofafmetingen
- Ideale brandstofhoeveelheid
- Ideale installatie
- Ideale afstelling en gebruik (o.a. regeling van luchttoevoer)
- Voorverwarmd toestel.

De installateur en de gebruiker hebben een belangrijke rol te vervullen om de milieuprestaties in reële omstandigheden te beperken (zie verder – BBT voor installatie, gebruik en onderhoud van toestellen). Maar ook de fabrikant kan hierop inspelen door toestellen zodanig te ontwerpen dat de invloed van (foutief) gebruikersgedrag zoveel mogelijk uitgeschakeld wordt, waardoor de prestaties in reële omstandigheden minder sterk zullen afwijken van deze bij genormeerde testomstandigheden.

In Tabel 32 worden voor diverse types toestellen de BBT voor het ontwerp van nieuwe toestellen samengevat. Technieken die specifiek gericht zijn op het zoveel mogelijk uitschakelen van (foutief) gebruikersgedrag, en dus op beperking van emissies tijdens gebruik, zijn met een sterretje (*) in de linker kolom aangeduid. De beoordelingen BBT en BBT vgtg (van geval tot geval) dienen als volgt te worden begrepen:

- BBT: de techniek wordt voor het betrokken type toestel als noodzakelijk beschouwd om de met de BBT geassocieerde prestatieniveaus te behalen, en zou dus standaard aanwezig moeten zijn in elk nieuw toestel van dit type, ongeacht het profiel van de gebruiker.

- BBT vgtg: de techniek kan bijdragen tot het behalen van de met de BBT geassocieerde prestatieniveaus, maar is niet noodzakelijk in elk toestel aanwezig. Meer toelichting bij de vgtg beoordeling wordt per toesteltype gegeven in de bespreking onder de tabel.

De beoordelingen vgtg hebben enerzijds te maken met de door de toestelbouwer gekozen strategie (wijze waarop technieken precies worden uitgewerkt en met elkaar gecombineerd), waarbij de afwezigheid van een techniek kan gecompenseerd worden door aanwezigheid van andere technieken en de manier waarop deze zijn uitgewerkt.

Anderzijds kan de beoordeling vgtg ook samenhangen met de beoogde toepassing en het profiel van de gebruiker. Zo stellen gebruikers andere eisen (bv. groot vuurzicht) aan toestellen die voornamelijk gebruikt worden voor sfeer- of bijverwarming dan aan toestellen die voor hoofdverwarming moeten dienen. Dit heeft consequenties voor de technische toepasbaarheid van sommige technieken. Bovendien zijn toestellen die gebruikt worden voor hoofdverwarming in de winterperiode dagelijks langdurig in gebruik, waardoor ze in vergelijking met toestellen voor sfeer- of bijverwarming een grotere milieu-impact hebben. Technieken voor beperking van emissies of verhoging van het energetisch rendement zijn hierdoor sneller economisch te verantwoorden (kostenefficiënt) voor hoofdverwarming dan voor sfeer- of bijverwarming.

Tabel 32: Overzicht van de BBT en BBT vgtg (van geval tot geval) per type toestel

Techniek	Zie paragraaf	Open haard	Stukhoukachel	Pelletkachel	Accumulatiekachel	Stukhoutketel	Pelletketel
<i>Technieken die specifiek gericht zijn op het zoveel mogelijk uitschakelen van (foutief) gebruikersgedrag, en dus op beperking van emissies tijdens gebruik, zijn met een sterretje (*) in de linkerkolom aangeduid.</i>							
Vlamkeerplaat	4.1.1	/	BBT	BBT	BBT	BBT	BBT
Rooster in de verbrandingskamer	4.1.2	/	vgtg	BBT	vgtg	vgtg	BBT
Isolatie van de verbrandingskamer	4.1.3	/	BBT	BBT	BBT	BBT	BBT
Gebruik van hitte reflecterend materiaal in de verbrandingskamer	4.1.4	/	vgtg	vgtg	vgtg	vgtg	vgtg
Oppervlakte van het glasraam beperkt houden	4.1.5	/	vgtg	vgtg	vgtg	nvt ⁴⁵	Nvt ⁴⁵
Gebruik maken van dubbel, driedubbel of gecoat glas voor het glasraam	4.1.5	/	vgtg	vgtg	vgtg	nvt ⁴⁵	nvt ⁴⁵
Een verticale ipv horizontale verbrandingskamer	4.1.6	/	vgtg	vgtg	vgtg	BBT	BBT
Aanwezigheid van een 2 ^{de} verbrandingskamer of verbrandingszone/-kanaal voor de naverbranding	4.1.7	/	BBT	BBT	BBT	BBT	BBT
Getrapte luchttoevoer	4.1.8	/	BBT	BBT	BBT	BBT	BBT

⁴⁵ Geen glasraam aanwezig

*	Sturing luchttoevoer – monoregeling	4.1.9	/	BBT ₄₆	nvt ⁴⁷	BBT ₆ ⁴	BBT ₆ ⁴	nvt ⁴⁷
*	Sturing luchttoevoer - automatische regeling van luchttoevoer en luchtcirculatie	4.1.10	/	vgtg	BBT	vgtg	BBT	BBT
	Luchtdichte uitvoering van het toestel	4.1.11	/	BBT	BBT	BBT	BBT	BBT
	Voorverwarming toevoerlucht verbranding	4.1.12	/	BBT	BBT	BBT	BBT	BBT
	Warmterecuperatiesysteem rookgassen	4.1.13	/	vgtg	vgtg	vgtg	vgtg	vgtg
*	Het zoveel mogelijk stoken bij nominale belasting stimuleren door toestellen aan te bieden in verschillende vermogensklassen en met beperkt vermogensbereik	4.1.14	/	BBT	BBT	BBT	BBT	BBT
*	Automatische brandstoftoevoer	4.1.15	/	vgtg	BBT	vgtg	vgtg	BBT
*	Geavanceerde controle verbrandingsproces op basis van de kamertemperatuur en weersomstandigheden	4.1.16	/	vgtg	vgtg	vgtg	vgtg	vgtg
	Een katalysator geïntegreerd in het toestel	4.2.1	/	vgtg	vgtg	vgtg	vgtg	vgtg
	Een elektrofilter geïntegreerd in het toestel	4.2.2	/	vgtg	vgtg	vgtg	vgtg	vgtg

→ Open haarden

Voor open haarden zijn er geen technieken voor beperking van emissies of verhoging van de energie efficiëntie beschikbaar. Het verbrandingsproces in een open haard verloopt hierdoor ongecontroleerd. Door de grote aanvoer van lucht zijn de warmteverliezen in de verbrandingskamer groot en worden de vrijgestelde gassen snel mee afgevoerd. In de verbrandingszone is er weinig vermenging van deze gassen met de lucht en de verblijfstijd is eerder kort waardoor er geen of een beperkte naverbranding plaatsvindt. Het energetisch rendement is zeer laag en de emissies hoog. Het gebruik van een open haard voor huishoudelijke houtverwarming wordt om deze redenen **niet als BBT beschouwd**. Bestaande open haarden worden daarom best buiten gebruik gesteld en al dan niet vervangen door een ander verwarmingstoestel.

→ Stukhoutkachels

Moderne stukhoutkachels worden doorgaans uitgerust met een aantal maatregelen (in de tabel aangeduid als BBT of als BBT vgtg) om hun energie- en milieuprestaties te verbeteren. Ze presteren hierdoor beter dan open haarden en beter dan oudere stukhoutkachels die nog niet met deze maatregelen zijn uitgerust. Stukhoutkachels kunnen door toepassing van deze maatregelen voldoen aan de Ecodesign eisen die op hen van toepassing zijn (= prestaties onder genormeerde condities, zie Tabel 7).

⁴⁶ Indien automatisch gestuurde luchttoevoer geen BBT is.

⁴⁷ Want automatisch gestuurde luchttoevoer is BBT.

De maatregelen die in Tabel 31 zijn aangeduid als BBT voor stukhoutkachels, zijn vrijwel standaard aanwezig in nieuwe toestellen. De maatregelen die zijn aangeduid met vgtg zijn niet standaard allemaal tegelijk aanwezig, maar vele nieuwe stukhoutkachels beschikken wel over één of meerdere van deze maatregelen. Dit hangt zoals eerder vermeld enerzijds samen met de door de toestelbouwer gekozen strategie, en anderzijds met de beoogde toepassing van het toestel en het profiel van de gebruiker (oa **hoofdverwarming versus sfeer- of bijverwarming**):

- Het beperken van de oppervlakte van het glasraam en de verticale ipv horizontale verbrandingskamer zijn gunstig voor de milieu- en energieprestaties van het toestel, maar ze zijn niet verzoenbaar met een groot vuurzicht, en daarom niet toepasbaar wanneer de gebruiker een groot vuurzicht wenst (bij sfeerverwarming).
- Het gebruik van dubbel, driedubbel of gecoat glas voor het glasraam kan de prestaties van kachels met (grote) glasramen verbeteren, maar heeft een significante meerkost, die afhankelijk van het profiel van de gebruiker en de prijsklasse van het toestel wel of niet als aanvaardbaar beschouwd kan worden.
- Bij toestellen met automatische regeling van luchttoevoer en luchtcirculatie wordt de invloed van de gebruiker (incorrect stookgedrag) beperkt (= beperking van emissies in reële omstandigheden). Dergelijke toestellen op stukhout zijn reeds op de markt beschikbaar, maar hebben nog een significante meerkost. Deze moet afgewogen worden tegen de gerealiseerde milieuwinst en het grotere gebruiksgemak. De meerkost zal sneller te verantwoorden (kostenefficiënt) zijn voor gebruikers die het toestel vele uren per jaar gebruiken (bij hoofdverwarming). Voor gebruikers die hun toestel minder vaak en minder langdurig gebruiken (sfeer- of bijverwarming), zijn de voordelen beperkter en wordt een sturing door middel van een monoregeling ook als BBT beschouwd.
- Toestellen met geavanceerde controle van het verbrandingsproces zijn nog maar beperkt beschikbaar en de meerkost is nog hoog. Op dit gebied worden nog verdere ontwikkelingen verwacht.
- Toestellen met automatische brandstoftoevoer stellen eisen qua vorm en grootte aan het brandhout. Ze zijn nog maar beperkt beschikbaar en hebben een significante meerkost.
- De goede werking van een geïntegreerde katalysator of elektrofilter is sterk afhankelijk van het gebruikersgedrag (bv. regelmatig onderhoud en correct stookgedrag), en daarom enkel geschikt voor gebruikers die bereid zijn de nodige inspanningen hiervoor te leveren. Ook hebben deze maatregelen een meerkost die moet worden afgewogen tegen de gerealiseerde milieuwinst. De meerkost zal sneller te verantwoorden (kostenefficiënt) zijn voor gebruikers die het toestel vele uren per jaar gebruiken (bij hoofdverwarming).

Binnen de categorie stukhoutkachels wordt nog onderscheid gemaakt tussen **inzetkachels**, **inbouwkachels** en **voorzetkachels**. Voor deze 3 types zijn in het algemeen dezelfde technieken BBT en ook de Ecodesign eisen maken geen onderscheid tussen de 3 types. Wel dient er bij inzetkachels rekening gehouden te worden met de beschikbare ruimte waarin het toestel moet geplaatst worden, waardoor een verticale verbrandingskamer geen optie is. Voorzetkachels hebben als voordeel dat het vrijstaande karakter gunstig is voor door de warmteoverdracht, waardoor zij een hoog energetisch rendement kunnen bereiken.

→ Pelletkachels

Pellets hebben in vergelijking met stukhout een meer constante kwaliteit, door hun productieproces enerzijds en anderzijds doordat er normen en kwaliteitslabels op van toepassing zijn, en kunnen als een vloeistof gegoten worden. Dit is voordelig met het oog op het optimaliseren van het verbrandingsproces en het automatiseren van de brandstoftoevoer. Moderne pelletkachels zijn dan ook standaard uitgerust met automatische sturing van de luchttoevoer en met automatische

brandstof toevoer. Door toepassing van deze BBT voldoen pelletkachels aan de Ecodesign eisen die op hen van toepassing zijn (= milieuprestaties onder genormeerde testcondities zie Tabel 33), en wordt de invloed van de gebruiker (incorrect stookgedrag) beperkt (= beperking van emissies in reële omstandigheden,). Door dit alles hebben moderne pelletkachels betere energie- en milieuprestaties dan stookhoutkachels.

Het beperkt houden van het oppervlakte van het glasraam, het gebruik van dubbel, driedubbel of gecoat glas en de geavanceerde controle van het verbrandingsproces en de geïntegreerde katalysator of elektrofilter worden voor pelletkachels als BBT vgtg geëvalueerd, met dezelfde randvoorwaarden inzake toepasbaarheid als voor stookhoutkachels. Een verticale opstelling van de verbrandingskamer wordt als BBT beschouwd voor vrijstaande pelletkachels.

→ **Accumulatiekachels**

Het belangrijkste verschil tussen accumulatiekachels en gewone houtkachels, is dat accumulatiekachels de warmte opslaan in keramische materialen als speksteen, tegels en/of klei en deze nadien geleidelijk afgeven aan de omgeving onder de vorm van stralingswarmte, wat als zeer aangenaam wordt ervaren. Ook leggen de rookgassen een veel langere weg af dan in gewone houtkachels, waardoor de opname van restwarmte uit de rookgassen veel beter is. Voor accumulatiekachels worden gelijkaardige technieken als BBT geselecteerd als voor niet accumulerende kachels. Ook de Ecodesign eisen maken geen onderscheid tussen accumulerende en niet accumulerende toestellen.

→ **Stookhoutketels**

Voor stookhoutketels zijn in het algemeen gelijkaardige BBT van toepassing als voor stookhoutkachels. Omdat ketels niet in de woonruimte staan, is er geen vuurzicht nodig. Hierdoor is er geen raam aanwezig (wat gunstig is voor de milieu- en energieprestaties). Ook kan de verbrandingskamer steeds verticaal opgesteld worden. In vergelijking met stookhoutkachels is de relatieve meerkost van een automatische regeling van de luchttoevoer beperkter, en is deze meerkost voor ketels verantwoord (kostenefficiënt) omdat het toestel steeds voor hoofdverwarming wordt gebruikt. Bijgevolg zijn een verticale verbrandingskamer en automatische regeling van de luchttoevoer BBT voor stookhoutketels. Stookhoutketels kunnen handgestookt zijn en hebben mede hierdoor minder goede milieuprestaties dan pelletketels, die steeds automatisch gestookt zijn (zie ook Ecodesign eisen). Automatische brandstof toevoer op stookhoutketels heeft een significante meerkost.

→ **Pelletketels**

Voor pelletketels zijn in het algemeen gelijkaardige BBT van toepassing als voor pelletkachels. Omdat ketels niet in de woonruimte staan, is er geen vuurzicht nodig. Hierdoor is er geen raam aanwezig (wat gunstig is voor de milieu- en energieprestaties). Ook kan de verbrandingskamer steeds verticaal opgesteld worden. Pelletketels worden steeds automatisch gestookt, en hebben mede hierdoor betere milieuprestaties dan handgestookte (stookhout)ketels (zie ook Ecodesign eisen).

→ **Met de BBT geassocieerde milieuprestatieniveaus**

Nieuwe toestellen moeten onder testomstandigheden minimaal voldoen aan de Ecodesign eisen (vanaf 1/1/20 voor ketels en vanaf 1/1/22 voor kachels). Daarnaast worden in de Ecodesign verordeningen ook 'indicatieve benchmarks voor best presterende toestellen' en 'voorbeelden van

goede combinaties' gegeven. Belangrijke vermelding bij de indicatieve benchmarks is dat er op het ogenblik van de inwerkingtreding van de verordeningen geen enkel toestel op de markt was dat gelijktijdig aan alle eisen voldeed. Er waren wel verscheidene toestellen op de markt die voldeden aan één of meerdere van deze eisen. De voorbeelden van 'goede combinaties' hebben betrekking op bestaande toestellen.

Tabel 33: Milieuprestaties volgens Ecodesign verordeningen (emissies @13% O₂ voor kachels en @10% O₂ voor ketels)

	Seizoens- gebonden energie- efficiëntie (%)	Stof (mg/Nm ³)	OGC (mg/Nm ³)	CO (mg/Nm ³)	NOx (mg/Nm ³)
Eisen					
Stukhoutkachel	65	40	120	1500	200
Pelletkachel	79	20	60	300	200
Handgestookte ketel	75/77 ⁴⁸	60	30	700	200
Automatisch gestookte ketel	75/77 ⁴⁸	40	20	500	200
Indicatieve benchmark voor best presterende toestellen					
Stukhoutkachel	86	20	30	500	50
Pelletkachel	94	10	10	250	50
Ketels	94/90/84 ⁴⁹	2	1	6	97
Goede combinatie					
Stukhoutkachel	83	33	69	1125	115
Pelletkachel	91	22	6	312	121
Ketels	81	7	2	6	120

Uit de bevraging van kachelbouwers die georganiseerd werd in het kader van de BBT-studie, blijkt dat diverse toestellen op de markt worden aangeboden die door toepassing van de BBT de Ecodesign eisen overtreffen, en dit voor alle parameters tegelijk. Dit is een indicatie dat er ruimte is om deze eisen te actualiseren. Er werden in de bevraging ook toestellen gerapporteerd die de 'indicatieve benchmarks best presterend toestel' uit de Ecodesign verordeningen behaalden voor één of meerdere parameters, echter geen toestellen die deze benchmarks behalen voor alle parameters tegelijk. Dit is een indicatie dat deze benchmarks nog steeds als ambitieus kunnen worden beschouwd. Er zijn wel toestellen die het 'voorbeeld van goede combinatie' overtreffen, met name bij houtkachels. Voor meer informatie over de bij de bevraging gerapporteerde prestatieniveaus wordt verwezen naar paragraaf 4.8.

De Ecodesign eisen hebben betrekking op milieuprestaties gemeten in labo's onder genormeerde testomstandigheden. Zoals hoger vermeld zullen milieuprestaties in reële gebruiksomstandigheden (onder wisselende en niet steeds optimale verbrandingscondities) minder goed zijn dan deze die gemeten worden in labo's onder genormeerde testomstandigheden. Over de milieuprestaties in praktijkcondities bestaat nog grote onzekerheid, en hiervoor kunnen geen met de BBT geassocieerde emissieniveaus bepaald worden. Het is daardoor ook onzeker of toestellen die het best presteren in labo-omstandigheden ook het best presteren in reële gebruiksomstandigheden. Technieken die

⁴⁸ Voor ketels max 20 kW / >20 kW

⁴⁹ Voor ketels met warmtekrachtkoppeling / met rookgascondensor / voor andere ketels

specifiek gericht zijn op het zoveel mogelijk uitschakelen van (foutief) gebruikersgedrag (technieken aangeduid met een sterretje (*) in Tabel 32), verkleinen het verschil tussen emissies in praktijk- en labo-omstandigheden.

Bij de aankoop van een nieuw toestel, dient een weloverwogen keuze gemaakt te worden tussen de verschillende toesteltypes (bv. een pellettoestel of een stukhoutgestookt toestel). De milieu- en energieprestaties verdienen hierbij de nodige aandacht. Zo hebben pellettoestellen betere milieu- en energieprestaties dan stukhouttoestellen. Bij de keuze van toestellen spelen echter ook andere argumenten een rol (oa. prijs van het toestel, gebruik (hoofdverwarming versus sfeerverwarming), beschikbaarheid van eigen (goedkoop) hout, ...).

5.2.2. BBT VOOR INSTALLATIE VAN TOESTELLEN

Om te garanderen dat het toestel onder optimale condities kan werken en zodanig zijn optimale milieuprestaties kan behalen, zijn volgende maatregelen BBT:

- Keuze van het toestel in functie van de behoefte (zie paragraaf 4.5.1)
- Goede plaatsing van het toestel (zie paragraaf 4.5.2)
- Goede plaatsing van het rookgaskanaal (zie paragraaf 4.5.4)
- Isolatie van de het rookgaskanaal (zie paragraaf 4.5.5)
- Plaatsing door een deskundige installateur (zie paragraaf 4.5.7)
- Voorzien van een droge en verluchte opslagruimte voor hout (binnen of buiten) (zie paragraaf 4.5.8)

Het voorzien van een externe luchttoevoer (zie paragraaf 4.5.3) biedt voordelen op het gebied van veiligheid (CO-vergiftiging) en is een absolute noodzaak (BBT) voor toestellen die geplaatst worden in moderne, luchtdichte woningen. In oudere woningen die niet luchtdicht zijn biedt een externe luchttoevoer nog steeds voordelen, maar kunnen er technische beperkingen zijn om deze te voorzien. Voor oudere, niet luchtdichte woningen wordt de techniek daarom als BBT vgtg beoordeeld.

Het voorzien van geforceerde trek voor voldoende luchttoevoer in de verbrandingskamer (zie paragraaf 4.5.6) heeft enkel zin als er onvoldoende natuurlijke trek is in het rookgaskanaal, en is daarom slechts in die omstandigheden BBT.

5.2.3. BBT VOOR GEBRUIK VAN TOESTELLEN

Om te vermijden dat emissies door het gebruik van het toestel onnodig hoog zijn, is het BBT om het toestel op een correcte manier te gebruiken. Volgende maatregelen worden daarbij als BBT beschouwd:

- Opvolgen van stooktips, inclusief het gebruik van geschikt en voldoende droog hout (zie paragraaf 4.6.1)
- Houtverbranding beperken bij hoge fijn stofconcentraties en ongunstige weersomstandigheden (zie paragraaf 4.6.2)
- Instructies fabrikant volgen (zie paragraaf 4.6.3)

5.2.4. BBT VOOR ONDERHOUD VAN TOESTELLEN EN ROOKGASKANAAL

Om te vermijden dat de milieu- en energieprestatie van toestellen onnodig verslechtert gedurende de levensduur, is volgende maatregel BBT:

- Regelmatig onderhoud van het toestel en het rookgaskanaal (zie paragraaf 4.7.1)

5.2.5. BBT VOOR BESTAANDE TOESTELLEN (RETROFIT)

De meeste primaire maatregelen die als BBT geselecteerd worden voor nieuwe toestellen, kunnen niet zondermeer als retrofit maatregel toegepast worden in bestaande toestellen die hier nog niet over beschikken omwille van technische beperkingen. Bovendien zijn bepaalde maatregelen enkel nuttig in de juiste configuratie, en moet steeds de afweging gemaakt worden tussen de volledige vernieuwing van de installatie en het toepassen van retrofitmaatregelen. Maatregelen die in bepaalde situaties wel als retrofit kunnen toegepast worden en die als BBT vgtg beoordeeld worden, zijn (zie paragraaf 4.3):

- Warmterecuperatie rookgassen
- Warmteopslag
- Geforceerde trek

Onderstaande secundaire maatregelen kunnen, mits voldaan aan een aantal technische randvoorwaarden, geïmplementeerd worden om emissies van bestaande (oude of nieuwe) toestellen te beperken.

- Plaatsing van een katalysator, vooral in geval van geurhinder (zie paragraaf 4.4.1)
- Plaatsing van een elektrofilter (zie paragraaf 4.4.2)

De goede werking van een geïntegreerde katalysator of elektrofilter is sterk afhankelijk van het gebruikersgedrag (bv. regelmatig onderhoud en correct stookgedrag), en daarom enkel geschikt voor gebruikers die bereid zijn de nodige inspanningen hiervoor te leveren. Over de emissiereducties die met deze technieken behaald worden bestaat nog enige onzekerheid, ondermeer door het gebrek aan metingen in reële gebruiksomstandigheden. Deze technieken hebben een significante meerkost, die afhankelijk van het profiel van de gebruiker (bv. hoofdverwarming versus bij- of sfeerverwarming) wel of niet in een redelijke verhouding staat tegenover de verbeterde milieuprestaties. Voor oude, vervuilende toestellen moet in elk geval een afweging gebeuren tussen de aankoop van een nieuw performanter toestel (met niet alleen lagere emissies, maar ook een hogere energie-efficiëntie) en het plaatsen van een katalysator of elektrofilter. De voor- en nadelen van het vervangen van een oud, vervuilend toestel door een nieuw, performanter toestel ten opzichte van de installatie van een katalysator of ESP worden samengevat in Tabel 34.

Tabel 34: Voor- en nadelen van opties voor een oud, vervuilend toestel

Aspect	Vervanging door nieuw, performanter toestel	Retrofit – katalysator	Retrofit – ESP
Kostprijs	😊/😞	😊	😊

	1.000 – 11.000 €, afhankelijk van toesteltype + 250 – 3.000 € installatie	vanaf 370 € excl. installatie	1.500 – 2.200 € incl. installatie
Elektriciteitsverbruik	😊/😐 Beperkt verbruik bij toestellen met ventilatoren, automatische sturing lucht- en/of brandstof toevoer Geen extra verbruik bij overige toestellen	😊 Geen verbruik	😐 Beperkt verbruik (10-100W)
Houtverbruik	😊 Lager verbruik dankzij hogere energie-efficiëntie*	😐 Geen effect	😐 Geen effect
Stofemissies	😊 Reductie*	😊 Reductie**	😊 Reductie**
Emissies van VOS/PAK, CO en geur	😊 Reductie*	😊 Reductie**	😐 Geen effect
Onderhoud	😊 Onderhoud van toestel en rookgaskanaal	😐 Onderhoud van toestel en rookgaskanaal + dagelijkse/wekelijkse reiniging van katalysator	😐 Onderhoud van toestel en rookgaskanaal + jaarlijkse of halfjaarlijkse reiniging van ESP (mogelijk te combineren met reiniging van rookgaskanaal)
Afvalstoffen	😊 Lager dankzij beperktere asvorming	😐 Beperkte hoeveelheid	😐 Grotere hoeveelheid

* de grootte van het effect is afhankelijk van het verschil in prestatie tussen het oude en het nieuwe toestel, en van de manier waarop het toestel gebruikt en onderhouden wordt

** bij correct gebruikersgedrag (bv. regelmatig onderhoud)

Voor de 3 opties geldt dat er relatief veel onzekerheid bestaat over de grootte van de gerealiseerde milieuwinst (% emissiereductie) onder reële gebruiksomstandigheden. Wel kan het volgende gesteld worden:

- De absolute milieuwinst (in kg emissiereductie/jaar) zal voor elk van de 3 opties groter zijn voor toestellen die gebruikt worden voor hoofdverwarming dan voor toestellen die gebruikt worden voor sfeer- of bijverwarming. Toestellen voor hoofdverwarming zijn in de winterperiode dagelijks langdurig in gebruik, waardoor ze hogere emissies (in kg/jaar) hebben. Eenzelfde procentuele reductie levert daardoor bij toestellen voor hoofdverwarming een grotere absolute reductie op dan bij toestellen voor sfeer- of bijverwarming.
- Eenzelfde procentuele reductie levert bij de meest vervuilende toestellen (met hoge emissies) een grotere absolute reductie op dan bij relatief beter presterende toestellen (met

minder hoge emissies). De absolute milieuwinst (in kg emissiereductie/jaar) zal dus voor elk van de 3 opties groter zijn wanneer ze toegepast worden op de meest vervuilende toestellen dan wanneer ze toegepast worden op relatief beter presterende toestellen⁵⁰.

De grootste potentiële milieuwinst kan dus gerealiseerd worden bij sterk vervuilende toestellen die gebruikt worden voor hoofdverwarming, de laagste bij relatief beter presterende toestellen die gebruikt worden voor sfeer- of bijverwarming.

Van de 3 opties is de vervanging door een nieuw, performanter toestel doorgaans de duurste maatregel. Hier tegenover staat dat deze maatregel, bij correct gebruikersgedrag, in principe voor alle milieu-aspecten (emissies van stof, VOS/PAK, CO en geur) een gunstig effect heeft. Dankzij de hogere energie-efficiëntie van nieuwe toestellen kan er bovendien een besparing op het houtverbruik gerealiseerd worden. Dit is zowel interessant vanuit financieel oogpunt (voor gebruikers die niet over gratis/eigen hout beschikken), als vanuit milieuoogpunt (minder hout verbranden = minder emissies). De relatief hoge kostprijs van deze maatregel is het meest verantwoord (kostenefficiënt) voor toestellen waar de grootste potentiële milieuwinst kan gerealiseerd worden: bij sterk vervuilende toestellen die gebruikt worden voor hoofdverwarming. Naarmate toestellen minder vervuilend zijn, en/of minder vaak en langdurig gebruikt worden (sfeer- of bijverwarming), wordt de potentiële milieuwinst door vervanging door een nieuw, performanter toestel minder groot, en wordt deze maatregel minder kostenefficiënt. De retrofit maatregelen kunnen dan een interessant alternatief vormen. Deze maatregelen zijn relatief goedkoper, en bieden mits correct gebruik en onderhoud, toch een bijkomende milieuwinst. De ESP richt zich hierbij op beperking van stofemissies, de katalysator verwijdert ook stof maar wordt vooral toegepast voor geurproblemen.

⁵⁰ Met mogelijke uitzondering van de retrofit door katalysator: deze kan zijn goede werking verliezen bij zeer slechte verbrandingscondities = bij de meest vervuilende toestellen.

HOOFDSTUK 6. AANBEVELINGEN OP BASIS VAN DE BESTE BESCHIKBARE TECHNIEKEN

Kennis van de BBT laat beleidsmakers, fabrikanten, installateurs, gebruikers en andere betrokken actoren toe om beter onderbouwde maatregelen te nemen om de milieu-impact van huishoudelijke houtverwarming te reduceren. De informatie in deze BBT-studie kan inspiratie bieden voor de ontwikkeling van diverse beleidsinitiatieven.

Hierbij kan gedacht worden aan sensibiliserende acties (informatiecampagnes), het aanbieden van opleiding (bv. aan stokers, installateurs), het uitwerken van codes van goede praktijk (bv. voor installatie, onderhoud, gebruik), het aanbieden van financiële stimulansen (premies), of het uitwerken van regelgeving, en dit zowel op Vlaams, Belgisch als Europees niveau. Het ligt niet binnen de scope van de BBT-studie om hierover concrete aanbevelingen te doen. Wel is duidelijk dat om tot een effectieve vermindering van emissies te komen, op verschillende sporen tegelijk moet ingezet worden:

- prestaties van toestellen die nieuw op de markt komen verbeteren
- oude, vervuilende toestellen vervangen door nieuwe toestellen (al dan niet hout), uitrusten met retrofit maatregelen en/of gebruiksbepalingen opleggen
- correcte installatie van toestellen
- correct gebruik van toestellen, inclusief gebruik van voldoende droog hout
- regelmatig onderhoud van toestellen

In BBT-studies worden doorgaans ook aanbevelingen gedaan voor de ecologiepremie. Dit is een financiële tegemoetkoming aan ondernemingen die ecologie-investeringen zullen realiseren in het Vlaamse Gewest. Aangezien particulieren (huishoudens) niet in aanmerking komen voor Ecologiepremie, is dit voor huishoudelijke houtverwarming niet relevant.

HOOFDSTUK 7. TECHNIEKEN IN OPKOMST

In dit hoofdstuk worden een aantal technieken in opkomst besproken die bij de opmaak van de BBT-studie werden geïdentificeerd. Technieken in opkomst zijn nieuwe technieken voor een activiteit die, als zij commercieel worden ontwikkeld, hetzij een hoger algemeen beschermingsniveau voor het milieu, hetzij minstens hetzelfde beschermingsniveau voor het milieu en grotere kostenbesparingen kunnen opleveren dan de beste beschikbare technieken. Het zijn technieken die nog niet op industriële schaal worden toegepast, of die nog in ontwikkeling zijn, en mogelijk in de toekomst BBT kunnen worden. Ook technieken die milieuproblemen aanpakken die nog maar recent onder de aandacht zijn gekomen voor een activiteit komen hier aan bod. Daarnaast worden in dit hoofdstuk ook aanbevelingen gegeven voor verder onderzoek en technologische ontwikkeling.

Bij een eventuele herziening van deze BBT-studie in de toekomst, kan onderzocht worden of de technieken in opkomst inmiddels BBT zijn geworden, en of verder onderzoek tot nieuwe inzichten geleid heeft.

7.1. TECHNIEKEN IN OPKOMST

Er werden bij de opmaak van de studie geen technieken in opkomst geïdentificeerd. Dit betekent niet dat er voor huishoudelijke houtverwarming geen verdere technologische ontwikkelingen zijn. Diverse fabrikanten en onderzoeksinstituten verrichten onderzoek naar mogelijkheden voor technologische verbeteringen, bv. op gebied van katalysatoren, warmte accumulerende materialen, en andere aspecten. Hierdoor mag verwacht worden dat er in de toekomst nieuwe toestellen op de markt zullen komen met betere prestaties dan de huidige generatie toestellen. De technologische verbeteringen hebben vooral betrekking op het gehele verbrandingsconcept, en op de onderlinge afstemming en optimalisatie van technieken die in deze BBT-studie beschreven staan, eerder dan op volledig nieuwe 'technieken in opkomst'.

7.2. AANBEVELINGEN VOOR VERDER ONDERZOEK EN TECHNOLOGISCHE ONTWIKKELING

Bij het opstellen van de BBT-studie werd vastgesteld dat er op diverse domeinen betrekkelijk weinig wetenschappelijk gevalideerde informatie bestaat om de reële milieu-impact van huishoudelijke houtverwarming in te schatten en de effectiviteit van maatregelen te beoordelen. Dit brengt veel onzekerheden met zich mee. Verder onderzoek is aangewezen voor ondermeer volgende aspecten:

- De meetmethoden voor stof, inclusief de fractie 'condensables'
- De emissies van toestellen in reële gebruiksomstandigheden, en de invloed van de verschillende factoren die deze beïnvloeden (type en leeftijd toestel, gebruikte houtsoorten, stookgedrag, aanwezigheid van secundaire maatregelen zoals een elektrofilter of een katalysator)
- De verbetering van emissiefactoren gebruikt voor het opstellen van emissie-inventarissen
- De prestaties van secundaire maatregelen (retrofit) in de praktijk over de gehele verbrandingscyclus en over de gehele levensduur
- De vorming van secundaire organische aerosolen en de verhouding met de primaire emissies.

Daarnaast blijft het ook belangrijk dat fabrikanten en onderzoeksinstituten onderzoek verrichten naar mogelijkheden voor technologische verbeteringen bij nieuwe toestellen (zie ook paragraaf 7.1)

HOOFDSTUK 8. BIBLIOGRAFIE

- 123-Kaminofen. (2019). *Externe Luchttoevoer Kit HWAM*. Opgehaald van <https://www.123-kaminofen.de/Nederlands/externe-luchttoevoer-kit-hwam>
- Ademe - Ineris. (2016). *Determination de facteurs d'émission de polluants des foyers domestiques alimentés au bois*.
- Ademe. (2012). *Dossier technique - Le chauffage au bois-bûche à hydro-accumulation*.
- Ademe. (2018). *Le chauffage au bois - Mode d'emploi*.
- Ademe. (2018). *L'entretien des chaudières*.
- Ademe. (2018). *Poêle à bois, chaudière ou insert?*
- Bioenergy 2020. (2010). *European wood-heating technology survey: An overview of combustion principles and the energy and emissions performance characteristics of commercially available systems in Austria, Germany, Denmark, Norway, and Sweden*. New York State Energy Research and Development Authority.
- Bullerjan. (2019). *Bullerjan B² Flex Box Model 2017 - Round*. Opgehaald van <https://www.bullerjan.com/en/product/bullerjan-b2-flex-box-modell-2017-rund/>
- Cork, T. (2013). *Here is how a catalytic combustor works in a wood burning stove....* Opgehaald van Firecat: <http://firecatcombustors.blogspot.com/2013/02/here-is-how-catalytic-combustor-works.html>
- DBFZ. (2018). *Minderung der Emissionen aus Scheitholzöfen durch ein zweistufiges integriertes Katalysatormodul*.
- DDG. (2019). *DDG- CV Kachels*. Opgehaald van <https://www.ddg.be/nl/concept>
- De Bruyn, S., van der Veen, R., & Korteland, M. (2019). *Milieuschadetekosten van verschillende technologieën voor woningverwarming*. CE Delft in opdracht van VMM.
- De groene hoed. (2019). *Ecolink Solutions*. Opgehaald van <https://www.groenehoedduurzaam.nl/brands/ecolink-solutions/>
- De kachelspecialist. (2019). *Levensduur van mijn houtkachel*. Opgehaald van Van Walsem Kachelspecialist: <https://www.kachelspecialist.nl/kennisbank/houtkachel-levensduur>
- Departement Omgeving. (2017). *Code van goede praktijk - Voorkomen en beheersen van milieuhinder van kleinschalige lucht- en dampafvoersystemen*. Brussel: Vlaamse Overheid. Opgehaald van https://www.lne.be/sites/default/files/atoms/files/CVGP_MilieuhinderLuchtafvoer_OO.pdf
- Departement Omgeving. (2018). *Schriftelijk leefomgevingsonderzoek SLO-4 (2018)*. Opgehaald van <https://www.lne.be/schriftelijk-leefomgevingsonderzoek-slo-4-2018>
- Ecobouwadvies. (2012, 05 05). *Pelletkachels*. Opgehaald van Ecologisch bouwen en verbouwen: <https://ecobouwadvies.be/ecologisch-verwarmen/pelletkachels/>
- Ecolink Solutions. (2017). *Overzicht van maatregelen en van technische voorzieningen*. Duurstede: Nic Franssens en Michiel Franssens. Opgehaald van www.ecolinksolutions.com
- ETA Heiztechnik GmbH. (2019). *Der Hackgutkessel für Landwirtschaft und Unternehmen*. Opgehaald van <https://www.eta.co.at/index.php?id=366&download=9166608d578aa7a07bedbc9e2a57297f>
- European Commission DG TREN. (2009). *Preparatory Studies for Eco-design Requirement of EuPs (II) - Lot 15 Solid fuel small combustion installations - Task 4: Technical analysis of existing products*. Bio Intelligence Service - Scaling sustainable development.

- European Environment Agency. (2019). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019*. European Environment Agency. Opgehaald van <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>
- Feringa, E., van der Wal, I., de Vogel, R., & Coenrady, C. (2019). *Gezondheids- en hindereffecten door houtkachels van particulieren*. STAB.
- Firecat. (2019). *FireCat Catalytic Combustors Frequently Asked Questions*. Opgehaald van <https://www.firecatcombustors.com/Articles.asp?ID=250>
- Fraboulet, I. (2016). Determination of particulate matter emissions from solid biomass fuel burning appliances and boilers - Proposal for a common European test method. Opgehaald van https://www.researchgate.net/publication/292977162_EN_PME_TEST_Project_Position_paper_December_2015_Determination_of_particulate_matter_emissions_from_solid_biomass_fuel_burning_appliances_and_boilers_-_Proposal_for_a_common_European_test_method?channel=d
- Franssens, N., & Franssens, M. (2017). *Overzicht van maatregelen en van technische voorzieningen die de uitstoot van schadelijke stoffen door hout gestookte kachels en ketels kunnen verminderen*. Ecolink Solutions.
- Fröling. (2019). *Duurzaam verwarmen met Fröling biomassaketels*. Opgehaald van <https://www.hout-cv.eu/wp-content/uploads/2019/05/informatiefolder-V-DEF-productprogramma.pdf>
- Gebäude- & Umwelttechnik24. (2019). *ETA eHACK 20 bis 130 kW*. Opgehaald van <https://www.glo24.de/navi.php?k=3192&suche=&Sortierung=4&af=0>
- Hartmann, H., Turowski, P., & Kiener, S. (2010). *Electrostatic precipitator for small scale wood furnaces*. Opgehaald van <https://skat.ihmc.us/rid=1PV8YXWYZ-23X1KNH-2JPJ/510-851-1-PB.pdf>
- Jespers, K., Neven, T., Renders, N., Vingerhoets, P., & Pelgrims, M. (2019). *Energiebalans Vlaanderen 1990-2017*. Brussel: VEA.
- Jespersen, M. G., Jensen, J. H., Rönnbäck, M., Persson, H., & Wöhler, M. (2016). *Deliverable D8.1: Report on Round Robin tests (beReal)*. Danish Technological Institute.
- Kaivosoja, T., Virén, A., Tissari, J., Ruuskanen, J., Tarhanen, J., Sippula, O., & Jokiniemi, J. (2012). *Effects of a catalytic converter on PCDD/F, chlorophenol and PAH emissions in residential wood combustion*. Chemosphere.
- katalysator, L. (2019).
- katalysator, L. (sd). 2019.
- Kenniscentrum InfoMil. (2019). *Hinder en gezondheidseffecten van houtkachels*. Opgehaald van Kenniscentrum InfoMil: <https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/luchtkwaliteit/functies/hinder-gezondheidseffecten-houtkachels/>
- Kindbom, K., Mawdsley, I., Nielsen, O.-K., Saarinen, K., Jonsson, K., & Aasestad, K. (2017). *Emission factors for SLCP emissions from residential wood combustion in the Nordic countries*. Nordic Council of Ministers.
- Koppejan, J., & de Bree, F. (2018). *Kennisdocument houtstook in Nederland*. Enschede: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.
- Koppejan, J., & de Bree, F. (2018). *Kennisdocument houtstook in Nederland*. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO).
- Leveranciersinformatie elektrofilter. (2019). Opgehaald van Persoonlijke communicaties; <https://www.dutry.be/nl/brands/Kutzner-Weber;> [https://www.polvo.be/wp-content/uploads/2018/09/OekoTube-EN-1.pdf;](https://www.polvo.be/wp-content/uploads/2018/09/OekoTube-EN-1.pdf)
- Leveranciersinformatie katalysator. (2019). Opgehaald van Persoonlijke communicaties; Ecolink Solutions (2017) "Overzicht van maatregelen en van technische voorzieningen die de uitstoot van schadelijke stoffen door houtgestookte kachels en ketels kunnen verminderen"

- Mack, R., Hartmann, H., Mandl, C., Obernberger, I., Schüßler, I., Furborg, J., & Volz, F. (2017). *Guidelines for Low Emission and High Efficiency Stove Concepts*. Straubing, Germany: ERA-NET Bioenergy.
- Mack, R., Hartmann, H., Mandl, C., Schüssler, I., Volz, F., Furborg, J., & Illerup, J. B. (2017). *Development of Next Generation and Clean Wood Stoves - Final project report*. ERA-NET Bioenergy.
- New York State Energy Research and Development Authority (NYSERDA). (2010). *European wood-heating technology survey: An overview of combustion principles and the energy and emissions performance characteristics of commercially available systems in Austria, Germany, Denmark, Norway, and Sweden*.
- Nussbaumer, T. (2017). *Aerosols from Biomass Combustion - Technical report on behalf of the IEA Bioenergy Task 32*. IEA Energy. Opgehaald van http://task32.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2017/07/Nussbaumer_IEA_T32_Aerosol-Report_2017_07_14.pdf
- Obernberger, I., & Mandl, C. (2011). *Survey on the present state of particle precipitation devices for residential biomass combustion with a nominal capacity up to 50 kW in IEA Bioenergy Task32 member countries*. TU Graz, Graz. Opgehaald van <https://bios-bioenergy.at>
- Omniconfort. (2019). *Chaudiere-pellets-hargassner*. Opgehaald van <http://www.omniconfort.eu/chaudiere-pellets-hargassner,fr,8,43.cfm>
- Pacific Energy. (2016). *Catalytic Combustors & The Wood Stove Industry*.
- Plomp, A. J. (2017). *Mogelijkheden voor emissiereductie bij houtkachels*. ECN.
- Reichert, G., Sturmlechner, R., Stressler, H., Schwabl, M., Christoph, S., Oehler, H., . . . Hartmann, H. (2016). *Deliverable D3.3 Final Report: Definition of Suitable Measurement Methods and Advanced Type Testing Procedure for Real Life Conditions*. BIOENERGY 2020+ GMBH.
- Reichert, G., Sturmlechner, R., Stressler, H., Schwabl, M., Schmidl, C., Oehler, H., . . . Hartmann, H. (2016). *Final Report: Definition of suitable measurement methods and advanced type testing procedure for real life conditions*. Bioenergy 2020.
- Renders, N., De Weerd, Y., Gijsbers, M., Jespers, K., Van Esch, L., & Wevers, M. (2011). *Emissies door houtverbranding - Sectoren gebouwenverwarming en landbouw*. Vlaamse Milieumaatschappij (VMM).
- Rönneback, M., Henrik, P., Jespersen, M. G., & Jensen, J. H. (2016). *Deliverable D7.1: Documentation and evaluation of field data demonstration (beReal)*. SP Technical Research Institute of Sweden.
- Schön, C., & Hartmann, H. (2018). *Status of PM emission measurement methods and new developments*. IEA Bioenergy.
- Sfeerhaarden de Kempen. (2019). *Iron Dog Kachel*. Opgehaald van <https://sfeerhaardendekempen.nl/iron-dog-kachels/>
- Stokertje. (2019). *Wanneer binnenwerk van houtkachel vervangen?* Opgehaald van 't Stokertje: <https://www.stokertje.nl/veelgestelde-vragen/onderhoud-service/wanneer-binnenwerk-van-houtkachel-vervangen>
- 't Stokertje. (2019). Opgehaald van Niemand weet meer van stoken dan 't Stokertje: <https://www.stokertje.nl/>
- Tiitta, P., Leskinen, A., Hao, L., Yli-Pirila, P., & Kortelainen, M. (2016). *Transformation of logwood combustion emissions in a smog chamber: formation of secondary organic aerosol and changes in the primary organic aerosol upon daytime and nighttime aging*. Atmospheric Chemistry and Physics.
- Tytgat, T., Walpot, G., Cools, J., & Lenaerts, S. (2017). *Literature review of emissions of modern wood combustion devices and emissions reducing technologies, under real-life conditions*. Vlaamse Milieumaatschappij (VMM).
- Van Poppel, M., Aerts, W., Bayens, B., Brabers, R., Peters, J., Spruyt, M., & Van Laer, J. (2016). *Inschatting van de bijdrage van houtverbranding door burgers aan luchtverontreiniging in Vlaanderen: eindrapport*. Vlaamse Milieumaatschappij (VMM). VITO.

- Van Poppel, M., Baeyens, B., Aerts, W., & Divi-Divi), (. o. (2018). *Haalbaarheidsstudie emissiereductie van houtkachel met elektrostatische filter*. VITO.
- Van Walsem Kachelspecialist. (2019). *Levensduur van mijn houtkachel*. Opgehaald van Kachelspecialist: <https://www.kachelspecialist.nl/kennisbank/houtkachel-levensduur>
- Veldeman Nele, D. F. (2019). *Ontwikkelen methodologie voor de opvolging van de samenstelling van het kachelpark in Vlaamse huishoudens*.
- Verwarming-info. (2019). *Goed onderhouden kachel: goede werking*. Opgehaald van Info & advies over de verschillende soorten verwarming en verwarmingsketels: <https://www.verwarming-info.be/kachels/houtkachel/onderhoud-houtkachel>
- VMM. (2019). *Infografiek houverbranding*. Opgehaald van <https://www.vmm.be/lucht/infografieken/houtverbranding>
- VREG. (2019). *Evolutie energieprijzen en distributienettarieven*. Opgehaald van <https://www.vreg.be/nl/evolutie-energieprijzen-en-distributienettarieven>
- Werkspot. (2010). *Rooster voor open haard*. Opgehaald van <https://www.werkspot.nl/opdracht/132848/rooster-voor-open-haard>
- White Beam. (2015). *How to use catalytic converters to reduce fumes from wood stoves and boilers*. Opgehaald van [www.medium.com: https://medium.com/@Whitebeam/how-to-use-catalytic-converters-to-reduce-fumes-from-wood-stoves-and-boil-cbc208c3cecc](https://medium.com/@Whitebeam/how-to-use-catalytic-converters-to-reduce-fumes-from-wood-stoves-and-boil-cbc208c3cecc)

BIJLAGE 1: MEDEWERKERS VAN DE BBT-STUDIE**→ Kenniscentrum voor Beste Beschikbare Technieken**

- Greet Janssens
- Kristof Custers
- Diane Huybrechts
BBT-kenniscentrum
p/a VITO
Boeretang 200
2400 MOL
E-mail: bbt@vito.be

→ Contactpersonen federaties en bedrijven

- Marc Beun, Federatie schoorsteenvegers
- Jan Caerels, Techlink
- Greet Diericx, Bouwunie
- Thomas Dusquenne, Stüv
- Christophe Fonteyne, Polvo
- Nic en Michel Franssens, Ecolink Solutions
- Frank Geeraart, Viessman
- Guy Gommeren, Agoria CIV
- Griet Goossens, VCB
- Georges Gronsfield, Techlink
- Bruno Haemers, Poujoulat
- Peter Marchand, Dutry
- Olivier Thibaut, gas.be
- Emile Vandenbosch, ATTB
- Patrick Van den Bossche, Agoria CIV
- Paul Van den Bossche, WTCB
- Yvan Van Gucht, Dovre

Bovenstaande personen vertegenwoordigden de bedrijven in het begeleidingscomité voor deze studie.

→ Contactpersonen administraties/overheidsinstellingen

- Daisy Colsool, Departement Omgeving, Afdeling Beleidsontwikkeling en Juridische Ondersteuning
- Michel Degaillier, FOD Volksgezondheid, Veiligheid van de voedselketen en Leefmilieu
- Philippe De Vriendt, Departement Omgeving, Afdeling Gebiedsontwikkeling, Omgevingsplanning en -projecten
- Peter Meulepas, Departement Omgeving, Afdeling Energie, Klimaat en Groene Economie
- Nico Van Aken, OVAM
- Mirka Van der Elst, Departement Omgeving, Afdeling Energie, Klimaat en Groene Economie
- Jordy Vercauteren, VMM

Bovenstaande personen vertegenwoordigden de administraties en andere overheidsinstellingen in het begeleidingscomité voor deze studie.

→ **Experts**

- Jan Cools, Universiteit Antwerpen
- David De Pue, Universiteit Gent
- Willy Maenhout, Universiteit Gent
- Tom Tytgat, Universiteit Antwerpen

Bovenstaande personen waren als extern deskundige vertegenwoordigd in het begeleidingscomité voor deze studie.

BIJLAGE 2: FINALE OPMERKINGEN

Dit rapport komt overeen met wat het BBT-kenniscentrum op dit moment als de BBT en de daaraan gekoppelde aangewezen aanbevelingen beschouwt. De conclusies van de BBT-studie zijn mede het resultaat van overleg in het begeleidingscomité maar binden de leden van het begeleidingscomité niet.

Deze bijlage geeft de opmerkingen of afwijkende standpunten die leden van het begeleidingcomité en de stuurgroep namens hun organisatie formuleerden op het voorstel van eindrapport. Volgens de procedure die binnen het BBT-kenniscentrum van VITO gevolgd wordt voor het uitvoeren van BBT-studies, worden deze opmerkingen of afwijkende standpunten niet meer verwerkt in de tekst (tenzij het kleine tekstuele correcties betreft), maar opgenomen in deze bijlage. In de betrokken hoofdstukken wordt door middel van voetnoten verwezen naar deze bijlage.

Nog aan te vullen na consultatie finale draft

BIJLAGE 3: EXCEL BESTAND 'CONCORDANTIETABEL'

beschikbaar via www.emis.vito.be/bbt

Deze bijlage vergelijkt de indeling van types toestellen die gehanteerd wordt in de diverse regelgevingen en milieukeursystemen, en geeft aan welke types inhoudelijk met elkaar overeenstemmen.

BIJLAGE 4: EXCEL BESTAND 'OVERZICHT NORMEN'

beschikbaar via www.emis.vito.be/bbt

Deze bijlage bevat een overzicht van de eisen uit de diverse regelgevingen en milieukeursystemen voor verschillende types toestellen en verschillende parameters, en laat toe (via het tabblad 'Pivottabel') om verschillende tabellen te genereren om deze op verschillende manieren onderling te vergelijken.

BIJLAGE 5: RESULTATEN BEVRAGING

STUKHOUT TOESTELLEN					
	Alle	inbouwhaard	inzethaard	vrijstaande kachel niet accumulerend	vrijstaande kachel accumulerend
Algemeen					
aantal	41	18	4	13	6
Gegevens toestel					
nominaal vermogen - minimum	2,00	8,00	4,90	4,00	2,00
nominaal vermogen - maximum	26,00	26,00	11,00	14,50	4,80
nominaal vermogen - gemiddeld (kW)	10,40	15,46	8,55	7,09	3,60
Gemiddeld minimaal vermogen (kW)	5,45				
Gemiddeld maximaal vermogen (kW)	13,12				
kostprijs - minimum	680,00	2.140,50	1.920,00	680,00	3.381,00
kostprijs - maximum	11.139,70	7.325,00	2.870,00	5.223,00	11.139,70
kostprijs - gemiddeld	4.068,66	4.106,98	2.426,75	2.738,02	7.931,40
Brandstof					
Automatische brandstoftoevoer	0				
Aanwezigheid van technieken ter optimalisatie van het verbrandingsproces					
Vlamplaat/keerplaat aanwezig	41	18	4	13	6
Rooster in de verbrandingskamer	18	5	2	7	4
isolatie van de verbrandingskamer					
vuurvaste stenen (bv Chamotte)	18	7	1	4	6
vuurvaste platen (bv Vermiculiet)	21	11	2	8	0
vuurvaste doek	0	0	0	0	0
Hitte reflecterend materiaal in de verbrandingskamer	28	11	3	10	4
glasraam					

vooraan, kleiner dan grootte verbrandingskamer	9	4	0	1	4
vooraan, zelfde grootte als verbrandingskamer	25	9	4	10	2
glasraam aan meer dan 1 zijkant	6	5	0	1	0
geen glasraam aanwezig	1	0	0	1	0
enkel glas	28	13	4	10	1
dubbel glas	11	5	0	1	5
driedubbel glas	0	0	0	0	0
gecoat glas	1	0	0	1	0
verticale verbrandingskamer	16	5	0	7	4
naverbranding					
aparte naverbrandingszone in verbrandingskamer	30	12	3	11	4
secundaire verbrandingskamer	10	6	0	2	2
overige	1	0	1	0	0
convectieventilatoren					
niet aanwezig	30	11	0	13	6
ja, handmatige bediening	3	2	1	0	0
ja, op basis van temperatuursensor	8	5	3	0	0
overige	0	0	0	0	0
getrapte luchttoevoer					
primaire luchttoevoer	1	0	1	0	0
primaire + secundaire luchttoevoer	4	3	0	1	0
primaire, secundaire en glasspoellucht	28	9	2	11	6
primaire, secundaire en tertiaire luchttoevoer	0	0	0	0	0
primaire, secundaire, tertiaire en glasspoellucht	8	6	1	1	0
overige	0	0	0	0	0

Sturing van de luchttoevoer					
manueel, apart voor elke luchttoevoer	4	0	0	4	0
manueel, door middel van monoregeling	21	11	2	5	3
semi-automatisch	6	3	1	2	0
automatisch, meting temperatuur rookgas	3	0	1	1	1
automatisch, meting vlamtemperatuur	2	0	0	0	2
automatisch, drukmeting	2	2	0	0	0
automatisch, lambda sensor	1	0	0	1	0
overige	0	0	0	0	0
Externe luchttoevoer					
niet aanwezig	2,00	0,00	1,00	1,00	0,00
door middel van natuurlijke trek	39,00	18,00	3,00	12,00	6,00
door middel van geforceerde luchttoevoer	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Voorverwarming van secundaire verbrandingslucht	32,00	12,00	3,00	11,00	6,00
Warmterecuperatie-systeem rookgassen	19,00	7,00	2,00	5,00	5,00
Is het toestel volledig luchtdicht?	34,00	15,00	3,00	10,00	6,00
Is het toestel getest op deellast?	23,00	7,00	2,00	10,00	4,00
Warmteopslag					
niet aanwezig	24,00	13,00	2,00	9,00	0,00
in massa	6,00	0,00	0,00	0,00	6,00
in vloeistof (boiler)	2,00	2,00	0,00	0,00	0,00
in PCM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
overige	4,00	1,00	0,00	3,00	0,00

PELLETTOESTELLEN				
	Alle	vrijstaande kachel niet accumulerend	vrijstaande kachel accumulerend	ketel
Algemeen				
aantal	14	6	3	5
Gegevens toestel				
nominaal vermogen - minimum	2,00	2,50	2,00	16,00
nominaal vermogen - maximum	32,00	16,10	5,00	32,00
nominaal vermogen - gemiddeld (kW)	10,80	6,70	3,00	20,40
Gemiddeld minimaal vermogen (kW)	4,95			
Gemiddeld maximaal vermogen (kW)	12,66			
kostprijs - minimum	2.370,00	2.370,00	3.975,21	5.899,00
kostprijs - maximum	10.862,00	5.298,00	9.595,04	10.862,00
kostprijs - gemiddeld	6.241,63	4.322,50	7.404,96	7.846,60
Brandstof				
Automatische brandstoftoevoer	12			
Aanwezigheid van technieken ter optimalisatie van het verbrandingsproces				
Vlamplaat/keerplaat aanwezig	13	6	3	4
Rooster in de verbrandingskamer	14	6	3	5
isolatie van de verbrandingskamer				
vuurvaste stenen (bv Chamotte)	8	0	3	5
vuurvaste platen (bv Vermiculiet)	4	4	0	0
vuurvaste doek	0	0	0	0
Hitte reflecterend materiaal in de verbrandingskamer	11	6	3	2
glasraam				

vooraan, kleiner dan grootte verbrandingskamer	6	3	3	0
vooraan, zelfde grootte als verbrandingskamer	3	3	0	0
glasraam aan meer dan 1 zijkant	0	0	0	0
geen glasraam aanwezig	5	0	0	5
enkel glas	5	4	1	0
dubbel glas	4	2	2	0
driedubbel glas	0	0	0	0
gecoat glas	0	0	0	0
verticale verbrandingskamer	10	5	3	2
naverbranding				
aparte naverbrandingszone in verbrandingskamer	8	1	2	5
secundaire verbrandingskamer	1	0	1	0
overige	5	5	0	0
convectieventilatoren				
niet aanwezig	12	4	3	5
ja, handmatige bediening	0	0	0	0
ja, op basis van temperatuursensor	2	2	0	0
overige	0	0	0	0
getrapte luchttoevoer				
primaire luchttoevoer	2	2	0	0
primaire + secundaire luchttoevoer	5	0	0	5
primaire, secundaire en glasspoellucht	7	4	3	0
primaire, secundaire en tertiaire luchttoevoer	0	0	0	0
primaire, secundaire, tertiaire en glasspoellucht	0	0	0	0
overige	0	0	0	0

Sturing van de luchttoevoer				
manueel, apart voor elke luchttoevoer	0	0	0	0
manueel, door middel van monoregeling	2	0	2	0
semi-automatisch	0	0	0	0
automatisch, meting temperatuur rookgas	1	1	0	0
automatisch, meting vlamtemperatuur	4	3	1	0
automatisch, drukmeting	7	2	0	5
automatisch, lambda sensor	0	0	0	0
overige	0	0	0	0
Externe luchttoevoer				
niet aanwezig	0,00	0,00	0,00	0,00
door middel van natuurlijke trek	6,00	3,00	3,00	0,00
door middel van geforceerde luchttoevoer	8,00	3,00	0,00	5,00
Voorverwarming van secundaire verbrandingslucht	7,00	4,00	3,00	0,00
Warmterecuperatiesysteem rookgassen	13,00	5,00	3,00	5,00
Is het toestel volledig luchtdicht?	14,00	6,00	3,00	5,00
Is het toestel getest op deellast?	11,00	6,00	0,00	5,00
Warmteopslag				
niet aanwezig	4,00	4,00	0,00	0,00
in massa	5,00	2,00	3,00	0,00
in vloeistof (boiler)	5,00	0,00	0,00	5,00
in PCM	0,00	0,00	0,00	0,00
overige	0,00	0,00	0,00	0,00