

Kennisdocument Houtstook in Nederland

Ir. J. Koppejan, Procede Biomass BV
Ir. F. de Bree, Buro Blauw BV

Enschede
September 2018



Colofon

Dit rapport is samengesteld in opdracht van

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland
Jan Iepsema
Postbus 8242
3503 RE Utrecht

Auteurs:

Ir. J. Koppejan, Procede Biomass BV
Ir. F. de Bree, Buro Blauw BV

Project PB201704

September 2018

Procede Biomass BV
Postbus 328
7500 AH Enschede

Alle rechten voorbehouden. Procede Biomass BV aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele fouten of onvolkomenheden



Inhoudsopgave

SAMENVATTING	6
1 AANLEIDING EN VRAAGSTELLING.....	9
1.1 ACHTERGROND.....	9
1.2 VRAAGSTELLING	13
1.3 AANPAK	14
2 TECHNIEKBESCHRIJVING	15
2.1 LOKALE VERWARMINGSTOESTELLEN (KACHELS EN HAARDEN)	15
2.1.1 <i>Open haarden</i>	15
2.1.2 <i>Inzethaarden</i>	16
2.1.3 <i>Inbouwhaarden</i>	17
2.1.4 <i>Vrijstaande kachels</i>	18
2.1.5 <i>Accumulerende kachels</i>	18
2.1.6 <i>Pelletgestookte kachels</i>	19
2.2 INDIRECT GESTOOKTE TOESTELLEN (KETELS)	20
2.2.1 <i>Stukhoutgestookte ketels</i>	20
2.2.2 <i>Pelletgestookte ketels</i>	22
2.2.3 <i>Houtsnippergestookte ketels</i>	23
2.3 VERBRANDING VAN BIOMASSA BUITENSHUIS	24
3 TRENDS IN ENERGIEOPWEKKING EN UITSTOOT	25
3.1 HOUTSTOOK BIJ PARTICULIEREN	25
3.1.1 <i>Aantal toestellen</i>	26
3.1.2 <i>Brandstofverbruik</i>	27
3.1.3 <i>Uitstoot naar de lucht</i>	29
3.2 BIOMASSAGESTOOKTE KETELS VOOR WARMTE BIJ BEDRIJVEN	34
3.2.1 <i>Aantallen ketels en opgesteld vermogen</i>	34
3.2.2 <i>Warmteproductie uit houtgestookte ketels</i>	37
3.2.3 <i>Uitstoot naar de lucht</i>	37
3.3 VERBRANDING VAN BIOMASSA BUITENSHUIS	41
4 WET EN REGELGEVING	42
4.1 WETTELIJKE NORMEN VOOR FIJNSTOF EN ACHTERGRONDBELASTING	42
4.2 EISEN EN RICHTLIJNEN M.B.T. PLAATSING EN GEBRUIK VAN KACHELS.....	44
4.2.1 <i>Eisen aan het toestel</i>	44
4.2.2 <i>Eisen aan de installatie en mogelijkheden tot handhaving</i>	44
4.2.3 <i>Handhaving bij overlast door gemeenten</i>	47
4.3 EISEN EN RICHTLIJNEN M.B.T. PLAATSING EN GEBRUIK VAN KETELS	47
4.3.1 <i>Veiligheidseisen</i>	47



4.3.2	<i>Activiteitenbesluit</i>	48
4.4	ONTWIKKELRUIMTE VOOR STIKSTOFUITSTOOT	48
5	TOELICHTING OVER UITSTOOT EN OMGEVINGSCONCENTRATIES	50
5.1	EMISSIECOMPONENTEN UIT BIOMASSAVERBRANDING	50
5.1.1	<i>Producten uit onvolledige verbranding</i>	51
5.1.2	<i>Producten ten gevolge van anorganische brandstofcomponenten:</i>	54
5.1.3	<i>Secundaire organische aerosolen</i>	55
5.2	DEELTJESGROOTTEVERDELING VAN FIJNSTOF	55
5.3	FACTOREN DIE DE VERBRANDINGSKWALITEIT BEÏNVLOEDEN	58
5.3.1	<i>Brandstofkwaliteit</i>	58
5.3.2	<i>Invloed van de gebruiker</i>	62
5.3.3	<i>Toestelontwerp en systeemontwerp</i>	65
5.3.4	<i>Dimensionering, systeemontwerp, installatie en onderhoud</i>	69
5.4	NAGESCHAKELDE ROOKGASREINIGING	70
5.4.1	<i>Nageschakelde rookgasreiniging bij biomassagestookte ketels</i>	70
5.4.2	<i>Nageschakelde rookgasreiniging bij kachels</i>	72
5.5	EMISSIEFACTOREN: KEURINGSEISEN VS. PRAKTIJK	74
5.5.1	<i>Kachels en ketels voor particulier gebruik</i>	74
5.5.2	<i>Biomassagestookte ketels onder het Activiteitenbesluit</i>	78
6	GEZONDHEIDSEFFECTEN EN OVERLAST VAN VERSCHILLENDE TYPEN TOESTELLEN.....	80
6.1	GEZONDHEIDSEFFECTEN VAN FIJNSTOF	80
6.1.1	<i>Gezondheidseffecten van organische componenten in fijnstof</i>	82
6.1.2	<i>Gezondheidseffecten van anorganische componenten in fijnstof</i>	87
6.2	HINDER DOOR HOUTROOK	87
7	IMPACT HOUTSTOOK OP LOKALE LUCHTKWALITEIT	89
7.1	UITGANGSPUNTEN BEREKENING IMPACT FIJNSTOF	89
7.2	DE IMPACT VAN KACHELS EN KETELS VOOR PARTICULIER GEBRUIK.....	91
7.2.1	<i>Bepalende factoren en gehanteerde aannames voor de modelberekeningen</i>	91
7.2.2	<i>Fijnstofbelasting bij één toestel</i>	94
7.2.3	<i>Fijnstofbelasting van meerdere toestellen</i>	98
7.2.4	<i>Momentane fijnstofbelasting: een casus</i>	99
7.3	IMPACT VAN HOUTGESTOOKTE KETELS BIJ BEDRIJVEN	101
7.4	GEUR.....	103
7.4.1	<i>Karakterisering van de bronnen</i>	103
7.4.2	<i>Beoordelingskader geurbelasting</i>	105
7.4.3	<i>Berekening geurbelasting bij één toestel</i>	106
7.4.4	<i>Cumulatie van geur door meerdere toestellen</i>	108
7.5	EFFECT VAN MITIGERENDE MAATREGELEN.....	111



7.6	SAMENVATTING MET BETREKKING TOT IMPACT OP LOKALE LUCHTKWALITEIT	112
8	MOGELIJKHEDEN OM OVERLAST TEGEN TE GAAN	114
8.1	TOOLKIT VOOR STOKERS TER VOORKOMING VAN OVERLAST	114
8.2	ADVIES PLATFORM HOUTROOK EN GEZONDHEID	115
9	REFERENTIES	117
APPENDIX 1.	BEGELEIDINGSCOMMISSIE	124
APPENDIX 2.	EMISSIEFACTOREN IN TNO MODEL	126
APPENDIX 3.	GEHANTEERDE EMISSIEFACTOREN INCLUSIEF EVT NAGESCHAKELDE ROOKGASREINIGING	127
APPENDIX 4.	EMISSIEFACTOREN VOOR OPEN HAARDEN EN GESLOTEN KACHELS EN HAARDEN UIT DE EMEP/EEA DATABASE [20]	129
APPENDIX 5.	ENERGIEOPWEKKING EN EMISSIEVRACHTEN PER TOEPASSING	130



Samenvatting

Verbranding van biomassa voor warmteopwekking in kachels en ketels vertegenwoordigt bijna een kwart van de huidige duurzame energieopwekking in Nederland. In absolute zin neemt de warmteproductie uit kachels en ketels steeds verder toe. Er bestaat echter ook maatschappelijke onrust rondom verschillende duurzaamheidsaspecten. Onder andere hinder en gezondheidsaspecten door houtrook zijn daarbij belangrijke thema's.

Dit document is geschreven om een feitelijk overzicht te geven van de situatie rondom de stook van biomassa voor warmteopwekking in de gebouwde omgeving. Dit gebeurt bijvoorbeeld bij particulieren in open haarden en kachels. Bedrijfsmatige toepassingen van houtstook in de gebouwde omgeving betreffen o.a. zwembaden, kantoren en andere utiliteitsgebouwen. Als bovengrens voor houtgestookte ketels in de gebouwde omgeving is een vermogen van 5 MW aangehouden, afgezien van een aantal uitzonderingen is dit een typische schaal grootte waarop houtgestookte warmtenetten worden toegepast.

Door in de totstandkoming van dit onderzoek een klankbordgroep te betrekken met brede maatschappelijke vertegenwoordiging, is beoogd een document samen te stellen waarin gedragen kennis / feitelijkheden rond het stoken van hout zijn weergegeven.

Tabel S1 vat de situatie samen qua warmteopwekking, brandstofverbruik en uitstoot van houtstook tot 5 MW. Daarbij wordt de huidige uitstoot uit houtstook vergeleken met de meest recente cijfers van de uitstoot van alle bronnen en de NEC plafonds voor 2020.

Tabel S1: Overzicht van de opwekking van warmte en de uitstoot uit houtstook tot 5 MW (2018). Ter vergelijking zijn de nationale uitstoot en de NEC plafonds weergegeven.

	Aantal	Warmte- producti e PJ	Biomassa verbruik PJ	CO ton/jaar	stof ton/jaar	PM2.5 ton/jaar	NOx ton/jaar	VOS ton/jaar	PCDD/F g/jaar	PAK10 ton/jaar
Pelletketels	3.000	0,1	0,1	24	3	2	9	0	0,00	-
Vrijst. Kachels	570.000	10,9	14,3	40.624	1.013	934	1.851	5.577	2,11	40
Inzethaarden	121.000	1,6	2,6	12.471	362	333	336	1.960	0,44	12
Open haarden	366.000	0,2	2,5	8.272	416	383	192	4.492	4,01	8
Houtindustrie	761	0,9	1,0	750	27	25	150	21	0,01	-
Landbouw	2.239	3,2	3,6	605	60	57	286	12	0,06	0
Energiebedrijven	20	0,2	0,3	46	3	3	21	1	0,00	-
Overige bedrijven	658	1,3	1,5	244	19	18	113	5	0,01	0
Totaal	1.063.677	18,4	26,0	63.037	1.902	1.755	2.958	12.068	6,64	59
Nat. Uitstoot (2015)[21]				640.800	30.360	16.530	356.300	147.400	21,87	200-500
NEC plafond voor 2020 [25]						13.000	202.000	166.000		

Volgens het CBS wordt er op dit moment ca. 19 PJ aan hout verbrand in ruim een miljoen particuliere open haarden, houtkachels en pelletkachels bij particulieren en 6 PJ in



houtgestookte ketels bij bedrijven. Tijdens de uitwerking van dit rapport zijn door de NHK nieuwe cijfers uit een onafhankelijk statistisch onderzoek ingebracht m.b.t. de aantallen houtgestookte kachels en haarden. Volgens dit onderzoek neemt het totale aantal daadwerkelijk gestookte houtkachels en haarden niet toe maar af, naar totaal 841.000 exemplaren (2017). Omdat volgens NHK het houtverbruik per toestel aanzienlijk lager is dan CBS aanneemt, komt de doorrekening op basis van NHK uit op een houtverbruik van slechts 11 PJ, wat eveneens gevolgen zou hebben voor de vermijdbare CO₂ en de emissies. CBS heeft laten weten dat zij bij de aanstaande herziening van haar data uiteraard aandacht zal besteden aan dit NHK-onderzoek. Vooralsnog is in dit kennisdocument uitgegaan van beschikbare informatie uit CBS publicaties.

Belangrijke trends bij de particuliere houtstook zijn de sanering van open haarden en oudere toestellen en de plaatsing van modernere en schonere houtkachels en pelletkachels. Hierdoor daalt de uitstoot aan fijnstof ondanks een toenemende warmteproductie. Echter, omdat de uitstoot van fijnstof uit andere landelijke bronnen (verkeer, industrie e.d.) sneller afneemt dan dat van particuliere houtstook, komt deze sector toch steeds meer in beeld als een significante bron van fijnstof.

De landelijke bijdrage van particuliere houtstook aan de landelijke PM_{2.5} uitstoot bedraagt op dit moment ruim 11% (1755 ton). Opgemerkt dient te worden dat dit alleen primaire emissies betreft welke bovendien worden gemeten bij de hoge temperatuur welke heerst in de schoorsteen. Door fysische en chemische reacties van koolwaterstoffen die in de schoorsteen nog als damp of gas worden uitgestoten kunnen direct na de schoorstenen secundaire aerosolen worden gevormd, dit valt buiten de emissiestatistieken. Hierdoor kan de feitelijke bijdrage van houtstook aan de PM_{2,5} concentratie in de omgeving substantieel hoger uitvallen dan de waarden in tabel S1. Daarnaast kan de bijdrage van houtstook aan de lokale omgevingsconcentraties fijnstof op lokaal niveau en op sommige momenten aanzienlijk hoger zijn dan het landelijk gemiddelde. Volgens ECN kunnen houtkachels in woonwijken tot 30 à 39% van de fijnstof concentraties veroorzaken op momenten in de winter wanneer verschillende houtkachels worden gestookt.

Naast de inzet van hout in houtkachels en open haarden wordt hout ook steeds meer ingezet in houtgestookte ketels. Terwijl houtgestookte ketels in het verleden vooral werden toegepast op basis van resthout in de houtverwerkende industrie, vindt er de laatste 10 jaar een verschuiving plaats naar andere sectoren zoals de landbouw, energiebedrijven (bijv. warmtenetten), industrie, utiliteitsgebouwen (zwembaden, kantoren etc.) en appartementencomplexen. Momenteel wordt er ca. 5,6 PJ aan warmte opgewekt uit houtgestookte ketels. De totale stofuitstoot van deze ketels wordt in dit rapport gekwantificeerd op ca 108 ton per jaar. Dit wordt vooral veroorzaakt door ketels die eerder in de landbouw zijn geplaatst, onder een relatief mild emissieregime mochten opereren en niet zijn uitgerust met nageschakelde rookgasreiniging. Bij nieuwe projecten waarbij sprake is van een inrichting moet worden voldaan aan de eisen uit het Activiteitenbesluit, waarbij nageschakelde rookgasreiniging noodzakelijk is.



Er zijn grote verschillen in energetisch rendement, uitstoot en gezondheidseffecten tussen de verschillende typen kachels en ketels die anno 2018 in Nederland in gebruik zijn. Dit is vooral afhankelijk van de leeftijd van het toestel, hoe deze wordt gestookt, wat de kwaliteit is van de brandstof, hoe deze is geïnstalleerd, etc. Open haarden, oudere kachels en oudere ketels laten een aanzienlijk hogere uitstoot zijn dan nieuwere kachels en ketels. Ook zijn er zowel bij kachels als ketels aanzienlijke verschillen in rendement en uitstoot tussen typekeuring en in de praktijk. Indien een fabrikant ervoor zou kiezen om zijn product te optimaliseren voor een lagere uitstoot onder meer reële wisselende omstandigheden, kan een aanzienlijke verbetering in uitstoot (m.n. OGC) en rendement worden bereikt.

Ook de toxiciteit van het uitgestoten stof kan sterk uiteenlopen tussen de verschillende toepassingen als gevolg van verschillen in verbrandingskwaliteit en dientengevolge chemische samenstelling. Terwijl het fijnstof uit een oudere houtkachel vooral bestaat uit roet en teren welke een sterke reactie op celweefsel uitlokken, bestaat het fijnstof uit een goed brandende pelletkachel of een volautomatische ketel vooral uit zouten, waarop celweefsel veel minder sterk reageert. Een schonere verbranding resulteert dus in minder stof, wat per gram bovendien minder organische stof bevat en daarmee minder schadelijk is. Wanneer alleen eisen voor omgevingsconcentraties worden gehanteerd als beoordelingscriterium, wordt voorbijgegaan aan deze nuance.

Zoals bovenstaande tabel laat zien komen er bij verbranding van hout behalve fijnstof ook andere relevante stoffen vrij, waaronder Nox, dioxines en polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK). Nox is relevant i.v.m. stikstofdepositie. Dioxines en PAK worden in de emissieregelgeving als zeer zorgwekkende stoffen (ZZS) aangemerkt en worden vooral uitgestoten door open haarden en verouderde kachels en haarden.

Ten behoeve van dit document zijn voor verschillende typen toestellen modelmatige berekeningen uitgevoerd om te verkennen in welke mate deze de luchtkwaliteit in stedelijk gebied nadelig kunnen beïnvloeden. Hieruit blijkt o.a. dat een moderne houtgestookte ketelinstallatie welke duizenden woningen verwarmt, direct rondom de centrale een lagere impact op de jaargemiddelde fijnstof concentratie heeft als een enkele conventionele houtkachel die af en toe wordt gestookt. Houtkachels dragen niet significant bij aan de jaargemiddelde achtergrondconcentratie (in stedelijk gebied gemiddeld $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ voor PM_{10} en $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ voor $\text{PM}_{2.5}$), echter lokale fijnstofconcentraties kunnen tijdelijk wel fors oplopen en dan overlast veroorzaken, bijvoorbeeld tijdens ongunstige weerscondities (temperatuursinversie, windstilte, etc.) en door slecht stookgedrag. In het meest ongunstige scenario wat is gemodelleerd bedraagt de impact op de lokale luchtkwaliteit ($\text{pm}_{2.5}$ concentratie) op 10 meter afstand ca. $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ voor open haarden en $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ voor conventionele kachels. Dit resulteert in een matig tot onvoldoende woon- en leefklimaat. Omdat er tot 2022 in Nederland vrijwel geen kwaliteitseisen worden gesteld aan de houtkachel en de mogelijkheden beperkt zijn tot het objectief vaststellen van overlast als grondslag voor handhaving, zullen ook in de toekomst nog vervelende gevallen van overlast voor blijven komen.



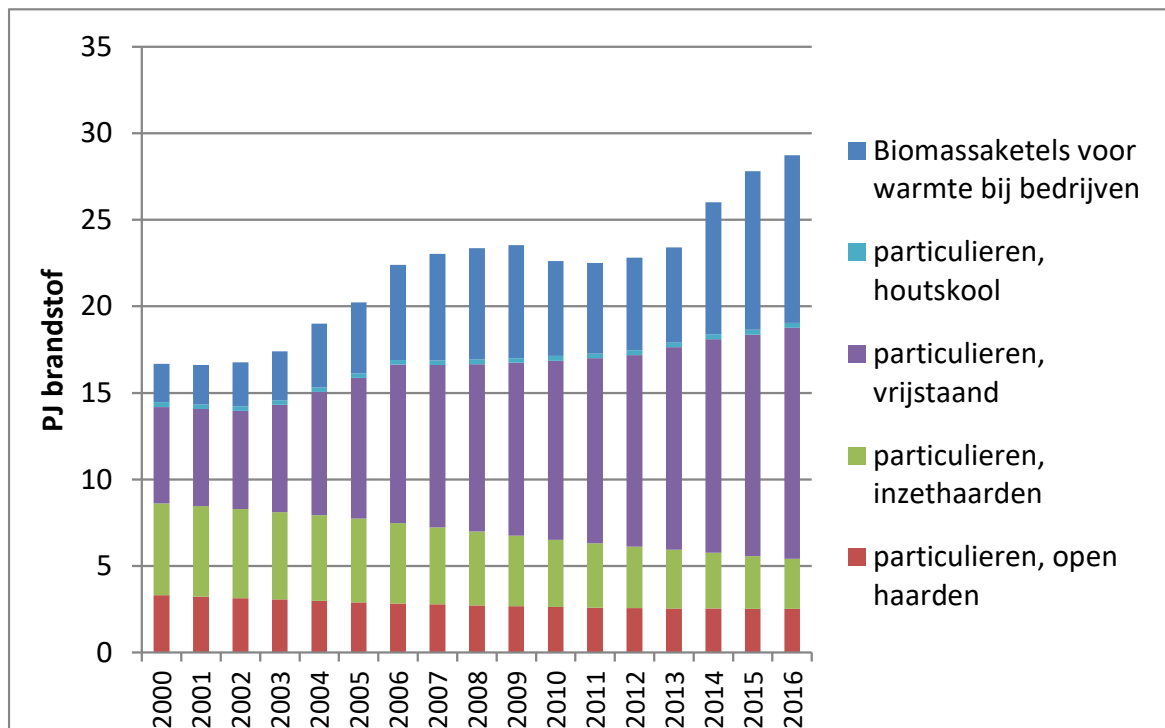
1 Aanleiding en vraagstelling

1.1 Achtergrond

Met ca. 23% van het huidige eindverbruik draagt verbranding van biomassa voor warmteopwekking in belangrijke mate bij aan de doelstellingen voor opwekking van hernieuwbare energie in Nederland.

In de particuliere sector is het verbruik van biomassa in houtkachels en open haarden langzaam toegenomen van ca. 15 PJ in 2000 naar ca 19 PJ in 2016 [12]. Volgens het CBS heeft momenteel ongeveer 1 op de 8 huishoudens in Nederland een open haard of houtkachel¹. Open haarden worden steeds minder gebruikt, vrijstaande toestellen juist meer. Ook zijn er sinds enkele jaren pelletkachels te koop.

Een andere wijze waarop biomassa wordt ingezet voor warmteproductie is in volautomatische houtsnipper- en houtpelletgestookte ketels. Terwijl dit in 2000 nog beperkt was tot 1 PJ in de houtverwerkende industrie, is deze toepassing toegenomen naar ca. 10 PJ in 2016. De nieuwe installaties zijn vooral geplaatst bij zwembaden, warmtenetten, landbouwbedrijven etc. ter vervanging van aardgas en soms propaan.



Figuur 1.1 Hoeveelheid ingezette biomassa voor duurzame warmteopwekking in de particuliere en zakelijke sector [12].

¹.



Figuur 1.1. geeft de trends aan in het totale verbruik aan biomassa voor warmteopwekking in de particuliere en zakelijke sectoren. Hieruit blijkt dat er sinds 2000 vooral een groei is geweest in de toepassing van bedrijfsmatig gestookte ketels en in vrijstaande kachels bij particulieren terwijl het gebruik van inzethaarden en open haarden is afgenomen. De verklaring hiervoor is dat doelbewuste en efficiënte warmteopwekking een belangrijker beweegreden tot houtstook is geworden dan het sfeerelement. Verwacht wordt dat biomassaverbranding voor warmteopwekking verder zal gaan toenemen, met name bij de bedrijfsmatig gestookte ketels. Volgens de Nederlandse Energie Verkenning [88] zal onder het huidige beleid de opwekking van warmte en elektriciteit uit biomassa toenemen van ca 18 PJ nu naar 24 PJ in 2020 en 32 PJ in 2030. Een belangrijk deel hiervan is warmte.

Ondanks de groeiende toepassing is de maatschappelijke acceptatie van biomassaverbranding de afgelopen jaren afgenomen. Soms wordt er openlijk getwijfeld aan de duurzaamheid en CO₂ besparing van projecten. Het gaat dan bijvoorbeeld over de vraag of er geen meer hoogwaardige markttoepassing voor de biomassa is dan verbranding.

Een ander genoemd argument betreft het effect op de luchtkwaliteit door de samenstelling van de vrijkomende rookgassen. Dit kan resulteren in geurhinder en een nadelige impact op de volksgezondheid. In het laatst uitgevoerde onderzoek door CBS naar de waardering van de leefomgeving in 2011 stelde ongeveer 10% van de Nederlanders wel eens last te hebben van houtrook [15]. Uit onderzoek door Motivaction in 2015 bleek dat in totaal iets minder dan de helft van de ondervraagde Nederlanders op zijn minst enige mate van overlast ervaart. Circa tien procent van de ondervraagden gaf in het onderzoek aan dat dit in grote of zeer grote mate zo is [4]. Uit de beperkt beschikbare informatie van klachtenregistraties van gemeenten blijkt dat een deel van de klachten zijn gerelateerd aan het gebruik van verouderde, slecht geïnstalleerde of slecht gestookte particuliere houtkachels [84]. Dit speelt met name in de winterperiode wanneer kachels worden gestookt. Een andere bron van overlast vormen de vuurkorven, tuinhaarden, barbecues en pizzaovens, deze worden vooral in de zomer gebruikt en kunnen volgens bewonerspanels in Amersfoort en Utrecht ook voor veel overlast zorgen [9,31]. Door het ontbreken van duidelijke regels waarop gehandhaafd kan worden is het voor gemeentes vaak lastig om tegen houtrookoverlast op te kunnen treden. Dit veroorzaakt een slecht imago van biomassaverbranding in het algemeen.

Een emissiecomponent met aantoonbare relevantie voor de volksgezondheid is fijnstof, onderverdeeld naar de maximale deeltjesgrootte in μm (totaal stof, PM₁₀, PM_{2.5} en PM₁). Alhoewel de directe uitstoot van PM_{2.5} van particuliere houtstook² sinds 2000 met 11% is afgenomen, is de totale landelijke PM_{2.5} uitstoot over dezelfde periode gehalveerd door maatregelen als roetfilters bij dieselmotoren [21]. Het aandeel van particuliere houtstook in

² In de Emissieregistratie wordt particuliere houtstook aangeduid als 'sfeerverwarming bij consumenten'. Houtstook gebeurt volgens de leveranciers van kachels en haarden echter ook steeds meer met het oog op warmteopwekking.

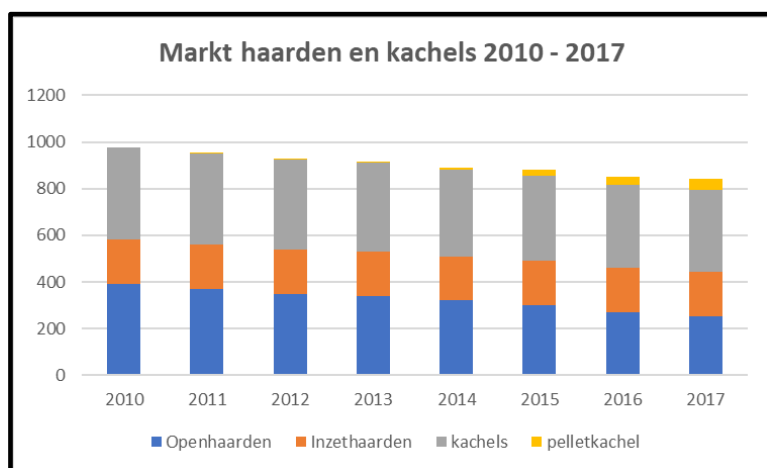


de totale primaire uitstoot van PM_{2.5} door menselijke bronnen in Nederland is daardoor toegenomen van ca 6% in 2000 naar ruim 11% in 2015, zie Figuur 1.2. Het is daarom meer in beeld gekomen als een sector waar verdere reductie wenselijk zou zijn.

Installed base onderzoek door NHK

Terwijl dit onderzoek werd afgerond kwam de NHK met de voorlopige resultaten van een onafhankelijk statistisch onderzoek naar de aantallen houtgestookte kachels en haarden en de hiermee opgewekte hoeveelheid duurzame energie. Uit de presentatie van de voorlopige resultaten van het NHK onderzoek op 9 juni 2018 bleek dat er significante verschillen zouden bestaan tussen de cijfers van NHK en de CBS getallen welke tot nu toe op basis van het TNO parkmodel worden bepaald. Volgens NHK neemt het totale aantal houtgestookte kachels en haarden niet toe maar juist af, naar 841.000 (2017). Dit zou vooral veroorzaakt worden door een daling in het aantal open haarden. Omdat het onderzoek bovendien stelt dat er per toestel aanzienlijk minder hout wordt gestookt, stelt NHK dat er momenteel geen 19 PJ aan hout, maar slechts 11 PJ aan hout zou worden gestookt. Met gelijkblijvende emissiefactoren zou dit vanzelfsprekend ook betekenen dat de landelijke uitstoot uit houtkachels en haarden significant lager zou zijn dan in onderhavig rapport gesteld.

CBS en TNO hebben toegezegd de verschillen verder te duiden na publicatie en analyse van de getallen en de onderzoeksmethodiek. Mogelijk leiden dit NHK onderzoek en de in 2019 te publiceren resultaten van het in 2018 door CBS uitgevoerde WoOn onderzoek tot een bijstelling van het TNO parkmodel en daarmee de statistieken gepubliceerd door CBS en in de Emissieregistratie over de opwekking van hernieuwbare energie en uitstoot.



Ontwikkeling in het totaal aantal open haarden, inzethaarden en kachels dat in gebruik

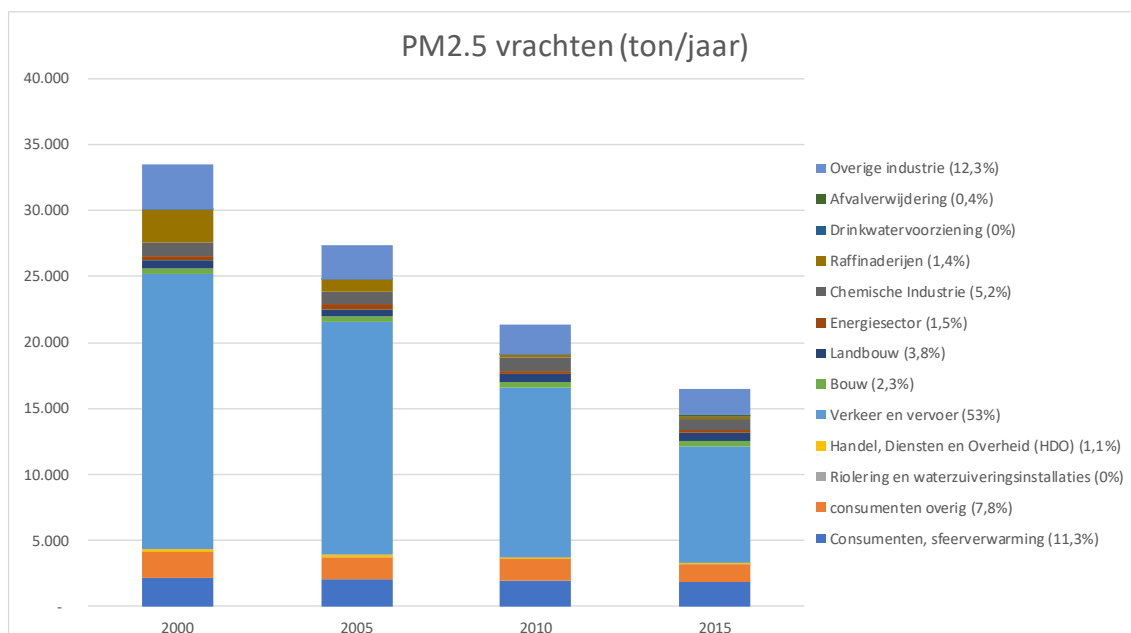
Overigens beperkt de Emissieregistratie zich tot fijnstof wat bij de heersende condities in de schoorsteen al in vaste of vloeibare vorm aanwezig is (primair fijnstof). Door de vorming van secundaire aerosolen uit gasvormige koolwaterstoffen direct na de schoorsteen kunnen



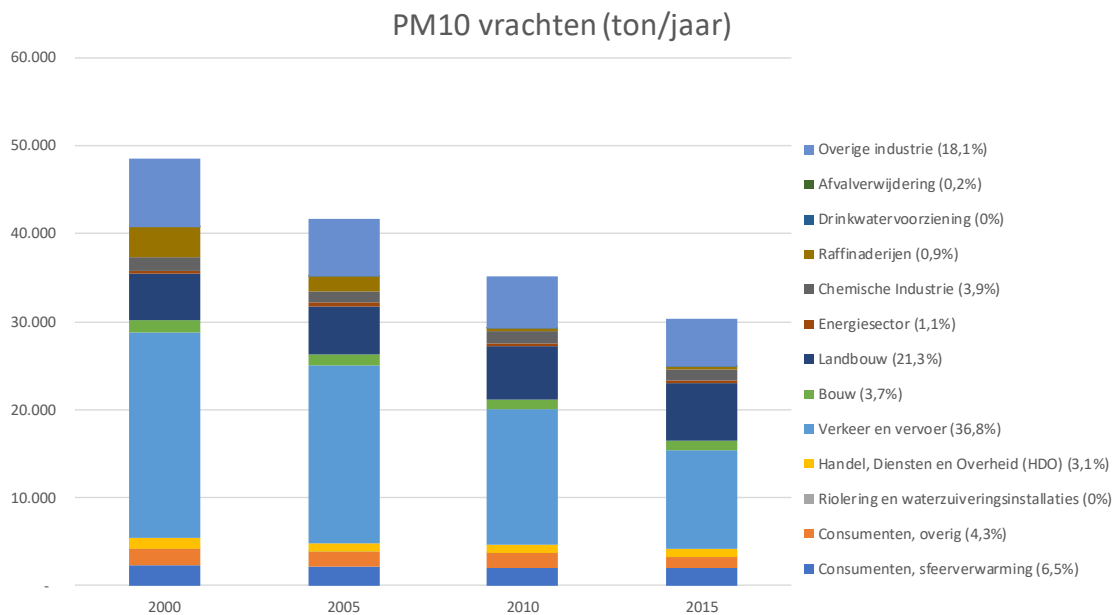
uiteindelijk grotere hoeveelheden fijnstof worden gevormd en aan de omgevingsconcentraties bijdragen dan wat uit de Emissieregistratie wordt verondersteld. Vooral in situaties waarbij relatief veel organische componenten worden uitgestoten kan dit leiden tot een factor 2-4 keer hogere stofuitstoot (zie ook 7.1)

Van de gemiddelde omgevingsconcentratie aan PM_{2,5} in Nederland is slechts 15,3% goed herleidbaar naar directe bronnen in Nederland, de overige 85% wordt veroorzaakt door bronnen in het buitenland (43%), natuurlijke herkomst (4%) en de resterende 37% betreft niet nader toe te wijzen bronnen, waaronder indirect gevormde fijnstofdeeltjes uit directe bronnen [32,42]. Op lokaal niveau en op bepaalde momenten kan de bijdrage van houtstook aan omgevingsconcentraties aanzienlijk hoger zijn dan het landelijk jaargemiddelde. Zo heeft ECN in Schoorl metingen gedaan waaruit blijkt dat van de 20,7 µg/m³ PM₁₀ er 4,2 µg/m³ afkomstig is van lokale houtstook en 1,5 µg/m³ van houtstook verder weg [59]. Van de massaconcentratie PM₁₀ in woonwijken waar sommigen hout stoken wordt het aandeel van lokale houtstook geschat op 9% à 27%, voor PM_{2.5} zelfs 30% à 39 % [59].

De Gezondheidsraad pleit dan ook voor strengere emissie-eisen voor houtkachels en maatregelen om het gebruik van houtkachels en pelletkachels in woningen te ontmoedigen, bijvoorbeeld door voorlichtingscampagnes over houtstook [32].



Figuur 1.2 Landelijke uitstoot van PM_{2.5} (ton/jaar), uitgesplitst naar doelgroep [21]. Percentages bij de legenda geven de relatieve bijdrage weer in 2015. Deze bijdrage betreft alleen de primaire aerosolen. Aanvullend hierop kunnen uit koolwaterstoffen secundaire aerosolen worden gevormd welke eveneens bijdragen aan verhoogde omgevingsconcentraties fijnstof. Het NEC plafond voor PM_{2.5} in 2020 bedraagt 13 kton [25]



Figuur 1.3 Landelijke PM10 uitstoot (ton/jaar), uitgesplitst naar doelgroep [21]. Percentages bij de legenda geven de relatieve bijdrage weer in 2015. Deze bijdrage betreft alleen de primaire aerosolen. Aanvullend hierop kunnen uit koolwaterstoffen secundaire aerosolen worden gevormd welke eveneens bijdragen aan verhoogde omgevingsconcentraties fijnstof.

De verbranding van biomassa leidt niet alleen tot uitstoot van fijnstof, ook verschillende andere componenten in het rookgas zijn relevant voor de luchtkwaliteit, met mogelijk gevolgen voor de volksgezondheid en andere milieueffecten zoals verzuring van de bodem. In hoofdstuk 5 van dit rapport wordt hier verder op ingegaan.

1.2 Vraagstelling

Biomassaverbranding speelt een toenemende rol in de Nederlandse energiemix. Het roept echter ook vragen op rondom duurzaamheid, CO₂ besparing en de invloed op luchtkwaliteit. Vanwege de complexiteit van deze vraagstukken is het belangrijk dat er goede feitelijke informatie beschikbaar is, zodat genuanceerde beeldvorming en goede besluitvorming kan plaatsvinden.

Voor wat betreft de mogelijke invloed op de luchtkwaliteit is het belangrijk dat er heldere en betrouwbare informatie beschikbaar is over mogelijke uitstoot, blootstelling en hinder van verschillende typen biomassaverbrandingsinstallaties waarop consumenten, belangenorganisaties en lokale overheden hun standpunten kunnen baseren.

Met deze studie wordt beoogd bij te dragen aan een genuanceerde maatschappelijke discussie over houtstook, door feitelijke informatie te geven over de bijdrage aan hernieuwbare energieopwekking, uitstoot en gezondheidseffecten van verschillende typen



houtkachels en houtgestookte ketels tot een maximale grootte van 5 MW³. Verder biedt dit document handvatten om de milieueffecten van houtstook in de volle breedte op kosteneffectieve wijze te minimaliseren door inzicht te geven in de wijze waarop hinder kan worden beperkt.

1.3 Aanpak

De studie is uitgevoerd door Procede Biomass BV en Buro Blauw BV, in samenwerking met een begeleidingscommissie bestaande uit o.a. kennisorganisaties, overheden en belangenorganisaties (zie Appendix 1). De rol van de begeleidingscommissie bestond uit het verstrekken van aanvullende inhoudelijke input voor de studie en het geven van feedback op tussenresultaten in tussentijdse bijeenkomsten. Daarmee is getracht een rapportage te genereren met optimale relevantie, correctheid en draagvlak binnen het beschikbare budget.

In hoofdstuk 2 worden verschillende wijzen van kleinschalige biomassaverbranding in de gebouwde omgeving (kachels, ketels en verbranding buitenshuis) toegelicht.

In hoofdstuk 3 wordt de **huidige situatie** toegelicht qua aantallen verschillende toestellen en de hieraan gerelateerde uitstoot, alsmede trends hierin.

In hoofdstuk 4 wordt de **wet- en regelgeving** rondom plaatsing en gebruik van biomassagestookte kachels en ketels kort toegelicht.

In hoofdstuk 5 wordt toegelicht hoe verschillende rookgascomponenten worden gevormd en welke factoren hierbij bepalend zijn. Het hoofdstuk laat ook zien hoe de uitstoot kan worden vertaald naar omgevingsconcentraties en legt uit waarom **emissiefactoren** in de praktijk substantieel kunnen verschillen van de uitstoot tijdens typekeuring

Hoofdstuk 6 gaat in op de **gezondheidseffecten** van rookgassen uit biomassaverbranding, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen verschillende typen kachels en ketels.

In hoofdstuk 7 wordt aan de hand van modelberekeningen onderzocht in welke mate verschillende toepassingen van houtverbranding in de gebouwde omgeving de lokale **luchtkwaliteit** nadelig kunnen beïnvloeden.

Tenslotte geeft hoofdstuk 8 een aantal maatregelen weer welke zijn aangedragen door het Platform Houtrook en Gezondheid om de overlast van houtstook tegen te gaan.

³ Deze capaciteit is gekozen omdat het indicatief is voor de maximale omvang van installaties welke in de gebouwde omgeving worden toegepast, bijvoorbeeld voor stadsverwarming.



2 Techniekbeschrijving

Bij de verbranding van biomassa kan onderscheid worden gemaakt tussen drie verschillende typen toepassingen, nl. *direct gestookte toestellen* of *lokale verwarmingstoestellen* (kachels en haarden), indirect gestookte toestellen (ketels) en overige toepassingen. Deze worden hieronder beschreven.

2.1 Lokale verwarmingstoestellen (kachels en haarden)

De belangrijkste toepassing voor particuliere houtverbranding betreft de handmatig of automatische gestookte kachels voor lokale verwarming. Deze staan hun warmte (vooral) op directe wijze af via convectie en straling aan de ruimte waarin deze zijn geplaatst en worden daarom ook wel *lokale verwarmingstoestellen* genoemd. In statistische informatie van het CBS en de Emissieregistratie wordt deze categorie aangeduid als 'sfeerverwarming bij consumenten'.

Voor de houtkachels welke worden geplaatst bij particulieren geldt in Nederland sinds 2007 de verplichte CE typekeur. Vanaf 2022 wordt dit vervangen door de verplichte ECODSIGN producteisen [22]). Daarnaast is sinds 2018 het Europese Energielabel van kracht geworden. Indien een houtkachel onderdeel uitmaakt van een inrichting gelden de eisen uit paragraaf 3.2.1 van het Activiteitenbesluit, echter dit komt vrijwel niet voor.

Omdat een kachel of haard in de te verwarmen ruimte is geplaatst, heeft deze meestal ook een belangrijke bijdrage als sfeerverhogend element. Bij een klein deel van deze kachels kan warmte worden afgegeven aan een CV systeem, meestal wordt de warmte echter alleen afgegeven aan de ruimte waarin de kachel is geplaatst. Volgens de definitie in de ECODSIGN regeling is een toestel een kachel wanneer tenminste 6% van de totale nuttige warmteproductie bij nominaal vermogen direct wordt afgegeven aan de omgeving [23,22]. Een aantal verschillende typen kachels en haarden zijn te onderscheiden.

2.1.1 Open haarden

In de jaren '70 en '80 zijn veel open haarden geïnstalleerd in nieuwbouwwoningen als sfeerverhogend element. Open haarden worden ook wel 'stookplaatsen' genoemd en zijn strikt genomen geen toestellen of producten. Ze vallen dan ook net als vuurkorven, buitenhaarden en houtgestookte pizzaovens volledig buiten de verplichte CE typekeuring voor kachels en hoeven niet te voldoen aan bepaalde emissie-eisen.

Door de ongecontroleerde verbranding is er sprake van een hoge luchtvermaat waardoor er veel (koude) buitenlucht wordt aangezogen, waardoor het rendement erg laag of zelfs negatief is (ca -10..+20%). Dit leidt tevens tot hoge emissies aan stof en C_xH_y.

Het stookcomfort van open haarden is slecht doordat er door de grote luchtvermaat sprake is van tocht en de haard vervuilend werkt in de te verwarmen ruimte. In vergelijking tot normale vrijstaande houtkachels of inbouw/inzethaarden worden open haarden worden dan

ook niet veel gebruikt, (gemiddeld ca 70 uur per jaar [47]) en dragen deze ondanks het grote aantal door het weinige gebruik en het lage rendement nauwelijks bij aan duurzame warmteproductie. Het relatief hoge houtverbruik en de slechte verbrandingskwaliteit leidt echter wel tot een hoge uitstoot aan VOC en fijnstof.



Figuur 2.1 Voorbeeld van een open haard

2.1.2 Inzethaarden

Ter verhoging van het rendement en het stookcomfort kiezen consumenten er soms voor om een inzethaard in te bouwen in een bestaande open haard. Omdat dit een gesloten toestel is met een gecontroleerde luchttoevoer, wordt de verbrandingskwaliteit (uitgedrukt in rendement en uitstoot) aanzienlijk verbeterd. Een voorbeeld van een inzethaard welke aan drie zijden zicht geeft op het vuur is weergegeven in Figuur 2.2.

Dergelijke kachels hebben een rendement van ca 50% voor oudere modellen uit de jaren '80 tot boven 75% voor kachels welke nu worden verkocht en voldoen aan de 1.BimSchV 2.Stufe eisen. Evenzo varieert de uitstoot van schadelijke componenten sterk tussen verschillende modellen.



Figuur 2.2 Voorbeeld van een inzethaard, in te bouwen in een bestaande open haard (Wanders)

2.1.3 Inbouwhaarden

Bij inbouwhaarden wordt het toestel niet ingebouwd in een bestaande schouw (zoals bij inzethaarden), maar wordt de schouw om het toestel heen gebouwd. Voor de gebruiker is dan meestal slechts een deel van het toestel zichtbaar. Een voorbeeld van een inbouwhaard is weergegeven in Figuur 2.3.



Figuur 2.3 Voorbeeld van een inbouwhaard waarbij de schouw later om het toestel is gebouwd (Barbas)

Inbouwhaarden zijn qua rendement en uitstoot vergelijkbaar met inzethaarden (variërend tussen ca 50% voor modellen van voor 1997 tot boven 75% voor kachels welke nu worden verkocht).

2.1.4 Vrijstaande kachels

Vrijstaande kachels kunnen hun warmte rondom goed kwijt en hebben daarom meestal een wat hoger rendement dan inbouw of inzethaarden (ca 60% voor oudere, ongekeurde toestellen van voor 1997 tot 75%-80% voor goede toestellen welke momenteel worden verkocht en voldoen aan de eisen uit de Duitse 1. BimSchV fase 2). Een voorbeeld van een vrijstaande houtkachel is weergegeven in Figuur 2.4.



Figuur 2.4 Voorbeeld van een vrijstaande kachel (Barbas)

2.1.5 Accumulerende kachels

Een accumulerende kachel is een kachel welke is uitgerust met relatief veel speksteen, keramiek, tegels of serpetine. Deze materialen hebben allemaal de eigenschap dat ze de warmte die tijdens het stoken wordt opgewekt gedurende een lange tijd kunnen opslaan en geleidelijk afgeven aan de omgeving. Deze kachels zijn meestal niet verplaatsbaar en vrij groot omdat het volume bepalend is voor de warmte-opslag. Er is een relatief beperkt aantal accumulerende kachels in gebruik in Nederland.



Figuur 2.5 Voorbeeld van een accumulerende kachel (Tulikivi)

2.1.6 Pelletgestookte kachels

De toepassing van pelletgestookte houtkachels, die als sfeerelement in een woning kunnen worden geïnstalleerd heeft in Nederland mede vanwege de financiële stimulering onder de ISDE regeling sinds 2016 een belangrijke groei doorgemaakt. Terwijl er in 2014 nog werd geschat dat er nog slechts minder dan 1000 pelletkachels waren zijn geplaatst, zijn er in 2016 al 8000 pelletkachels aangeschaft volgens de ISDE regeling [82]. In 2017 zijn hier nog eens ca 12.000 bijgekomen, dit betekent dat er momenteel ca 20.000 in gebruik zouden zijn [30]. Volgens een recent onderzoek van de NHK zouden er zelfs ca. 50.000 toestellen bedragen in 2018 [36], wat zou betekenen dat er verschillende pelletkachels ook zonder ISDE subsidie zijn geplaatst.

Met de subsidiëring van pelletkachels onder de ISDE regeling is ook het aantal importeurs van toestellen toegenomen. De ISDE subsidie van tenminste 500 Euro (afhankelijk van het vermogen) is substantieel t.o.v. de investeringskosten welke kunnen variëren tussen ca 1.000 en 5.000 Euro per toestel. Typische rendementen van pelletkachels bedragen ca. 80-92%.

De verkrijgbaarheid van de benodigde pellets voor particulier gebruik is in verhouding tot de situatie in het buitenland ook nog beperkt. Pellets moeten meestal per zak (25 kg) worden geleegd in de ingebouwde brandstofbunker. Waar in het buitenland door de houtpellets veelal huisbrandolie wordt vervangen, wordt in Nederland aardgas vervangen. Per GJ is aardgas aanzienlijk goedkoper dan huisbrandolie, zodat verlaging van de stookkosten in Nederland veel minder een argument is dan elders.

Tenslotte is het een uitdaging om het vlambeeld bij pelletverbranding voldoende aantrekkelijk te krijgen voor de consument, hierin wordt steeds beter geslaagd. De uitstoot van pelletgestookte kachels is vergelijkbaar of beter dan goede stukhoutgestookte kachels.



Figuur 2.6 Voorbeeld van een pelletgestookte kachel (Nordic Fire)

2.2 Indirect gestookte toestellen (ketels)

Indien er meer dan 6% van de warmte wordt afgegeven aan een CV installatie is er volgens de ECODESIGN definitie sprake van een *indirect gestookt toestel* of een *ketel*. Bij een ketel wordt warmte overgedragen aan een tussenmedium (meestal water) welke naar andere ruimten wordt geleid om daar via radiatoren of vloerverwarming warmte af te geven. Deze toestellen zijn dus vooral functioneel en worden meestal op een praktische en van buiten goed bereikbare plek gezet, bijvoorbeeld in een kelder of schuur. Grotere biomassagestookte ketels worden geplaatst in een speciaal daartoe ingerichte stookruimte of ketelhuis met brandstofsilo. Wanneer deze deel uitmaken van een inrichting vallen ze qua wetgeving onder paragraaf 3.2.1. van het Activiteitenbesluit.

2.2.1 Stukhoutgestookte ketels

Bij stukhoutgestookte ketels wordt de vrijkomende warmte via een vlampijpketel (deels) overgedragen aan het CV systeem, zodat ook andere ruimten kunnen worden verwarmd. Onderscheid wordt gemaakt tussen geavanceerde toestellen welke puur functioneel zijn ontworpen op levering van warmte en meestal uit het zicht zijn geplaatst (zoals weergegeven in Figuur 2.8) en toestellen met een sfeerelement welke in de woonkamer zijn geplaatst (zoals in Figuur 2.7 weergegeven).

Een aantal fabrikanten van sfeertoestellen heeft deze voorzien van extra warmte-uitkoppeling, zodat er ook warmte kan worden geleverd aan de CV installatie. Omdat meer dan 6% van de vrijkomende warmte normaliter via de warmtewisselaar wordt afgegeven is

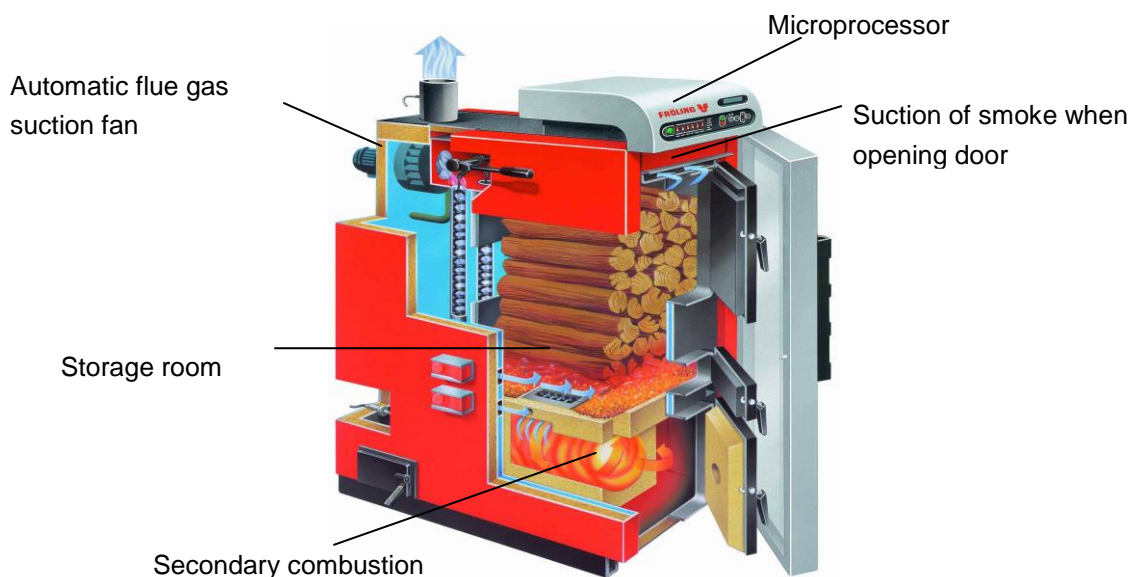
dan er volgens de definitie in de ECODESIGN regeling strikt gesproken sprake is van een ketel. Een voorbeeld is weergegeven in Figuur 2.7.



Figuur 2.7 Voorbeeld van een stukhoutgestookt toestel met CV-koppeling (Dik Geurts)

Qua verbrandingskwaliteit zijn deze toestellen vergelijkbaar met een stukhoutgestookte kachel. Omdat wordt beoogd een significant deel van de geproduceerde warmte over te dragen aan de cv, wordt de warmteoverdracht naar de omgeving beperkt door bijvoorbeeld toepassing van dubbel glas.

Een ander voorbeeld van een geavanceerde ketel voor verbranding van stukhout met automatische verbrandingsregeling en CO/λ sensor is weergegeven in Figuur 2.8. Dergelijke geautomatiseerde verwarmingstoestellen worden zijn in tegenstelling tot Figuur 2.7 vooral functioneel bedoeld. Deze worden uit het zicht geplaatst op een goed toegankelijke plek en meestal dagelijks handmatig gevuld met stukhout, waarna deze via een warmtebuffer over de hele dag voldoende warmte leveren voor de verwarming van een woning. Onderin de vulruimte vindt de ontgassing plaats, waarbij de pyrolysegassen worden afgezogen naar beneden en daar uitbranden in een goed geïsoleerde verbrandingskamer. De rookgassen worden door een ingebouwde ketelsectie geleid, zodat de warmte wordt overgedragen op het cv-systeem. Dergelijke geavanceerde systemen zijn verkrijgbaar vanaf een capaciteit van ca 15 kW tegen een prijs van 10.000-15.000 Euro. Omdat het verbrandingsproces continu op nominaal vermogen plaatsvindt tot de brandstof verbruikt is en de buffer vol, is een goed rendement (ca 90-93%) ook in de praktijk meestal haalbaar.



Figuur 2.8 Voorbeeld van een stukhoutgestookte ketel met automatische regeling van de verbrandingskwaliteit (Fröling, Oostenrijk)

De marktintroductie van dergelijke stukhoutgestookte ketels verloopt relatief langzaam in Nederland, een aantal van dergelijke toestellen zijn momenteel in gebruik bij eigenaren/beheerders van landgoederen en enkele particulieren. Dit type ketels valt onder de huidige ISDE regeling.

2.2.2 Pelletgestookte ketels

In de zgn. DACH landen (Duitsland, Oostenrijk, Zwitserland) met van oudsher een sterke houtstookcultuur heeft de toepassing van houtpelletgestookte ketels de laatste 15 jaar een snelle opkomst en ontwikkeling doorgemaakt. Ook in Nederland worden pelletketels recentelijk iets meer toegepast, mede onder invloed van de ISDE subsidie.

Door de volledige automatisering met computergestuurde regeling van de concentraties O_2 en CO wordt een optimale verbrandingskwaliteit bereikt en een hoog energetisch rendement (ca 90-95%), zoals Figuur 5.13 laat zien zijn er zelfs pelletgestookte ketels met condenserende warmtewisselaar zodat een rendement van ca 105% wordt gebruikt (bijv. Ökofen, Oostenrijk). Pelletgestookte ketels kunnen goed worden geïntegreerd met zonnecollectoren. Daarbij wordt normaliter een warmtebuffer toegevoegd om sterke fluctuaties in de warmtevraag op te kunnen vangen.

Een gemiddeld huishouden welke normaliter 1500 m^3 aardgas per jaar zou gebruiken, gebruikt ca 3000 kg of ca 5 m^3 per jaar aan houtpellets wanneer deze zou overschakelen. Omdat dit substantieel meer is dan bij een pelletkachel, worden de pellets vaak aangevoerd in bulk. De vracht wordt in dat geval vanuit een tankauto per slang geblazen in een bovengrondse of ondergrondse brandstofsilo, vanwaar de pellets automatisch worden getransporteerd naar de verbrandingsketel middels een transportvijzel of aanzuigslang. De

ingrijpende bouwkundige inpassing voor realisatie van een opslagvoorziening voor pellets maakt dat deze optie voor veel woningen niet geschikt is.

Niet alleen bij particulieren worden houtpellets ingezet. Ook bij bedrijfsmatig gestookte ketels van grotere capaciteit (bijvoorbeeld kantoren of appartementencomplexen) wordt soms gekozen voor houtpellets als brandstof in plaats van houtsnippers vanwege de lagere investeringskosten en de aanzienlijke logistieke voordelen m.b.t. handling, opslag en toevoer van houtpellets.



Figuur 2.9 Voorbeeld van een pelletgestookte ketel met zaksilo en warmtebuffer ter verwarming van een woonhuis (NBE RTB16)

2.2.3 Houtsnippergestookte ketels

In situaties met een warmtevraag vanaf ca. 100 of 200 kW kan het bij voldoende vollasturen mogelijk economisch interessant zijn om in plaats van houtpellets over te gaan op houtsnippers. De benodigde meerinvesteringen in de brandstoftoevoer en de ketelinstallatie moeten dan worden terugverdiend door een lagere brandstofprijs. Typische afnemers waarbij dit het geval kan zijn, betreffen overdekte zwembaden en warmtenetten. Terwijl het vooral bij de kleinere ketels van groot belang is dat de houtsnippers van hoge kwaliteit zijn (uniform en droog), worden grotere ketelinstallaties (vanaf enkele MW capaciteit) soms juist ontworpen op relatief laagwaardige houtsnippers met meer vocht en as, welke kunnen worden betrokken tegen een lagere prijs.

De meeste houtsnippergestookte ketels worden bedrijfsmatig ingezet bij bijvoorbeeld zwembaden, in de landbouwsector (pluimveehouderij, kalvermesterijen), en recentelijk ook voor stadsverwarming.



Figuur 2.10 Een houtsnippergestookte ketel van 400 kW ter verwarming van een overdekt zwembad (Binder)

2.3 Verbranding van biomassa buitenshuis

Naast de verbranding van biomassa in kachels en ketels voor doelbewuste warmteopwekking wordt er ook buitenshuis hout gestookt in open vuren, paasvuren, vuurkorven, vuurschalen, tuinhaarden, pizza-ovens, etc. De inzet van hout op deze wijze draagt niet bij aan nuttige energieopwekking of vermindering van fossiele brandstoffen.

Bij deze toepassingen zijn de emissiefactoren voor stof substantieel hoger dan bij de eerder genoemde kachels en ketels omdat er niet wordt voldaan aan de basisprincipes van een goed verbrandingsproces (geen geïsoleerde vuurhaard, teveel luchttoevoer, te lage verbrandingstemperatuur, etc. Er gelden geen emissie-eisen aan de verbrandingskwaliteit van deze toepassingen. In tegenstelling tot houtgestookte kachels en ketels welke vooral in de winter worden gestookt, worden deze toepassingen vooral in de zomer gebruikt en geven dan klachten.



3 Trends in energieopwekking en uitstoot

Dit hoofdstuk geeft een gedifferentieerd overzicht van de ontwikkelingen in het gebruik van houtgestookte kachels en ketels in Nederland. Dit betreft aantallen toestellen, de brandstofverbruik, warmteopwekking en de uitstoot. Daarnaast wordt ingegaan op de verwachte ontwikkelingen hierin, o.a. ten gevolge van de toename in het aantal ketels door stimulering onder de ISDE en SDE+ regelingen. Gedifferentieerd per type verbrandingstechnologie wordt daarbij aangegeven

- hoeveel kachels en ketels er in gebruik zijn van verschillende schaalgrootte en aard
- wat de energieopwekking en het biomassaverbruik zijn (afgeleid van vollasturen en typische vermogens)
- wat de directe emissievrachten zijn voor CO, Nox, fijnstof (PM₁₀, PM_{2.5}, PM₁) en onverbrande koolwaterstoffen. Deze componenten worden meestal gemeten tijdens typekeuringen of praktijkmetingen. Daarnaast zijn de emissievrachten van dioxines en PAK's ingeschat op basis van emissiefactoren uit de literatuur.

Vergelijkbare modelmatige studies als in dit hoofdstuk weergegeven zijn gedaan in bijvoorbeeld Duitsland [95], Oostenrijk [107] en Finland [83]. Een totaaloverzicht van de huidige situatie is weergegeven in Appendix 5. Hieronder wordt ingegaan op de categorieën houtstook bij particulieren, houtgestookte ketels bij bedrijven tot 5 MW en toepassingen van verbranding buitenshuis.

3.1 Houtstook bij particulieren

Voor de aantallen lokale verwarmingstoestellen (kachels en haarden) in de particuliere sector en de hoeveelheid hiermee opgewekte energie wordt aangesloten bij de CBS statistieken, welke zijn gebaseerd op het al beschikbare 'parkmodel' van TNO [47]. Het TNO-rekenmodel maakt onderscheid tussen typen toestellen van verschillende leeftijd, de laatste versie wordt beschreven in het rapport van Jansen [47]. Belangrijke aannames in het model zijn:

- De totale aantallen geïnstalleerde toestellen worden gecorreleerd aan de bestaande woningvoorraad, gedifferentieerd naar verschillende typen woningen en eigendom (bij vrijstaande koopwoningen zijn bijvoorbeeld meer toestellen in gebruik dan bij tussenwoningen in verhuur).
- Voor de uitfasering van oudere toestellen wordt een Weibull verdeling aangehouden welke afhangt van het type toestel. De mediaan voor vervanging van open haarden ligt op 30 jaar, voor een vrijstaande kachel bedraagt deze 22 jaar en voor een inbouwhaard ca 17 jaar.
- Nieuw geplaatste toestellen maken de balans tussen totale aantallen toestellen en uitgefaseerde toestellen. Beschikbare verkoopcijfers kunnen worden gebruikt om het model te ijken.

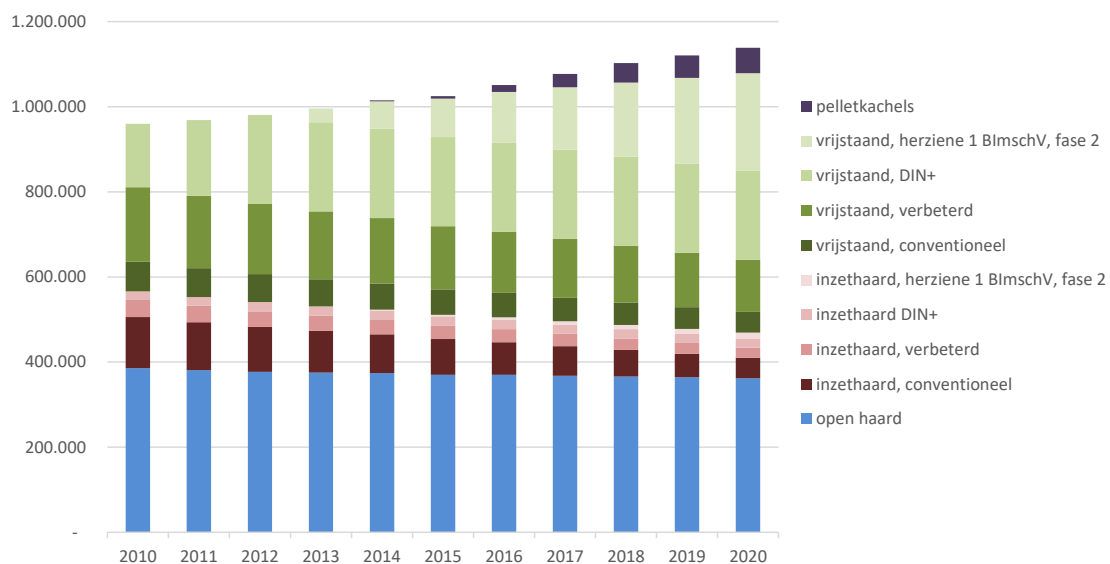
Opgemerkt wordt dat het TNO model zich beperkt tot stookhoutgestookte (open) haarden en kachels. Pelletgestookte kachels, pelletketels alsmede stookhoutgestookte ketels welke bij particulieren worden gebruikt zijn niet opgenomen in het model. In het model dat in het kader van onderhavige project is gehanteerd, zijn deze pelletkachels daarom toegevoegd.



De particuliere stook van hout in tuinhaarden, vuurkorven etc. is niet meegenomen in het TNO-model. Omdat er onvoldoende betrouwbare gegevens beschikbaar zijn om hier een goede analyse op uit te voeren, is deze toepassing in de modelberekening buiten beschouwing gelaten.

3.1.1 Aantal toestellen

Op basis van het TNO model concludeert het CBS dat er in 2016 in totaal 370.000 open haarden, 175.000 inbouw- en inzethaarden en 411.000 vrijstaande kachels in gebruik waarin ca 19 PJ aan hout werd verstoekt⁴. De trends in het aantal open haarden en kachels zijn weergegeven in Figuur 3.1. In het TNO-model wordt een uitsplitsing gemaakt naar subtype (conventioneel, verbeterd en DIN+); in onderhavige studie wordt daarop nog een uitbreiding gemaakt door in de door TNO gehanteerde categorie 'DIN+' ook kachels onder te brengen welke voldoen aan de nieuwste Duitse eis volgens de 2^e tranche van de 1. BimSchV en sinds 2015 worden verkocht. Omdat de Nederlandse markt voor een groot deel de Duitse markt volgt, kan worden aangenomen dat ook in Nederland veel nieuwe kachels voldoen aan de Duitse normstelling. Figuur 3.1 laat zien dat de modernisering geleidelijk plaatsvindt.



Figuur 3.1 Het aantal kachels en open haarden bij particulieren, uitgesplitst naar subtype en geëxtrapoleerd naar 2020 (samengesteld uit 1 en 47).

⁴ Recent marktonderzoek uitgevoerd in opdracht van de NHK [36] komt op 398.000 open haarden (waarvan 252.000 in gebruik), 224.000 inbouw- en inzethaarden (waarvan 190.000 in gebruik) en 380.000 vrijstaande kachels (waarvan 351.000 in gebruik)



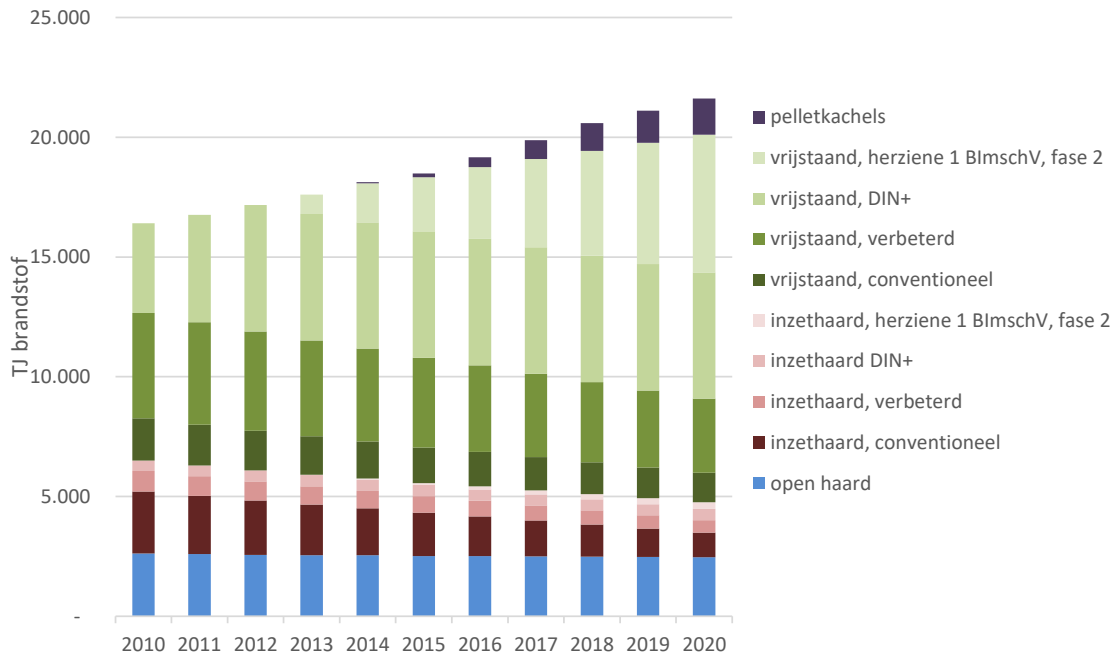
3.1.2 Brandstofverbruik

Het is verder belangrijk hierbij op te merken dat TNO (op basis van nieuwe inzichten uit CBS onderzoek) in 2016 verschillende modelparameters heeft bijgesteld ten opzichte van het verleden. Dit betreft o.a. typische toestelrendementen, brandstofverbruiken en de stookwaarde van de gebruikte brandstof. Zo worden nu hogere brandstofverbruiken per uur aangenomen bij open haarden dan in het verleden en verlaagde brandstofverbruiken bij de vrijstaande kachels en inbouwhaarden. Tevens neemt TNO met de aangepaste versie van het parkmodel aan dat verbeterde toestellen met een hoger rendement ook vaker worden gebruikt, zodat het jaarlijkse brandstofverbruik per toestel niet zou verschillen tussen één categorie kachels. Omdat de modernere toestellen binnen eenzelfde categorie niet alleen vaker worden gebruikt dan de oudere toestellen, maar ook een hoger rendement hebben, leveren deze nieuwere toestellen in de modellering door TNO meer warmte op in het model dan de oudere toestellen. Overigens pleit de brancheorganisatie NHK ervoor dat de aannames in het TNO model en de jaarlijkse CBS statistieken voor zowel de aantallen toestellen als het gebruik ervan opnieuw worden geïjkt, omdat een recent marktonderzoek in opdracht van de NHK [36] een aanzienlijke afwijking zou laten zien ten opzichte van de door TNO uitgevoerde extrapolatie op de in 2012 door CBS uitgevoerde inventarisatie in het WoON onderzoek [13].

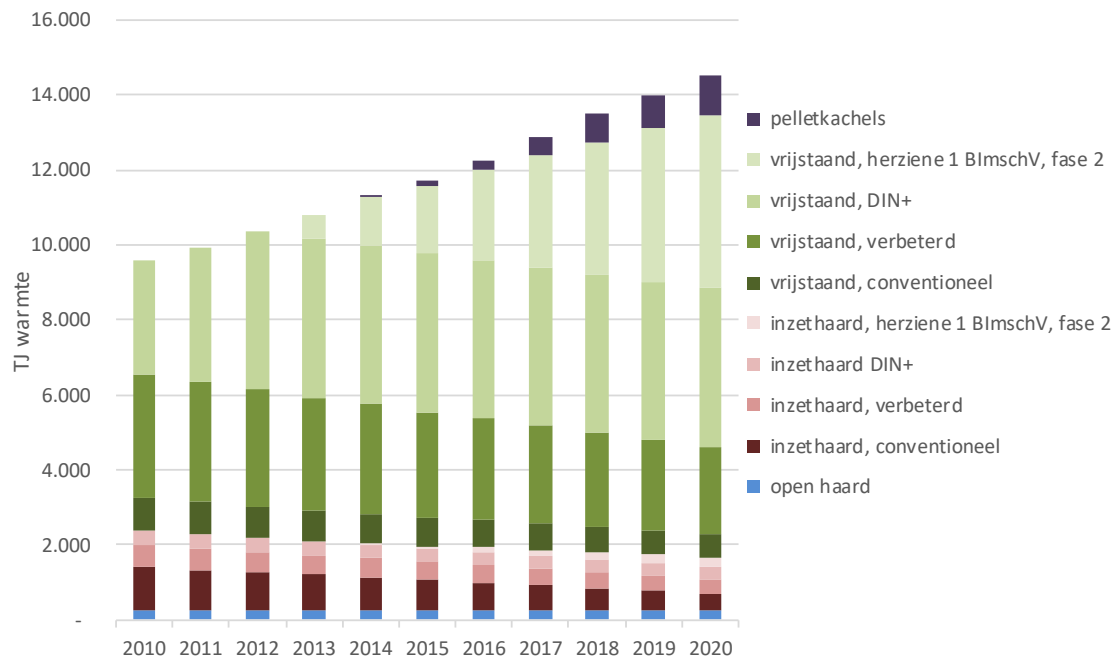
Volgens het CBS werd er in 2016 bijna 19 PJ aan biomassa verstoekt in de particuliere sector (ca 1,4 miljoen ton bij de door TNO aangenomen stookwaarde van 13,6 MJ/kg). Hierbij worden voornamelijk geen pelletkachels meegenomen. Volgens de ISDE regeling zijn er in 2016 ca. 8.500 pelletkachels voor particulieren gesubsidieerd, in 2017 nog eens ca 12.000 [82]. Inclusief de al voor de ISDE regeling geplaatste pelletkachels wordt geschat wordt dat er in 2018 in totaal ca. 25.000 pelletkachels in gebruik zijn⁵ [30]. Bij 1039 vollasturen en een gemiddeld vermogen van 5,7 kW betekent dit een gezamenlijk brandstofverbruik van ca. 1 PJ.

Een uitsplitsing van het geprognosticeerd biomassaverbruik tot 2020 is weergegeven in Figuur 3.2. Vrijstaande kachels nemen het grootste aandeel in.

⁵ Het recent uitgevoerde marktonderzoek door NHK geeft aan dat er ca 50.000 pelletkachels in gebruik zouden zijn [36].



Figuur 3.2 Het brandstofverbruik van kachels en open haarden bij particulieren tot 2020, uitgesplitst naar subtype [12, 47].



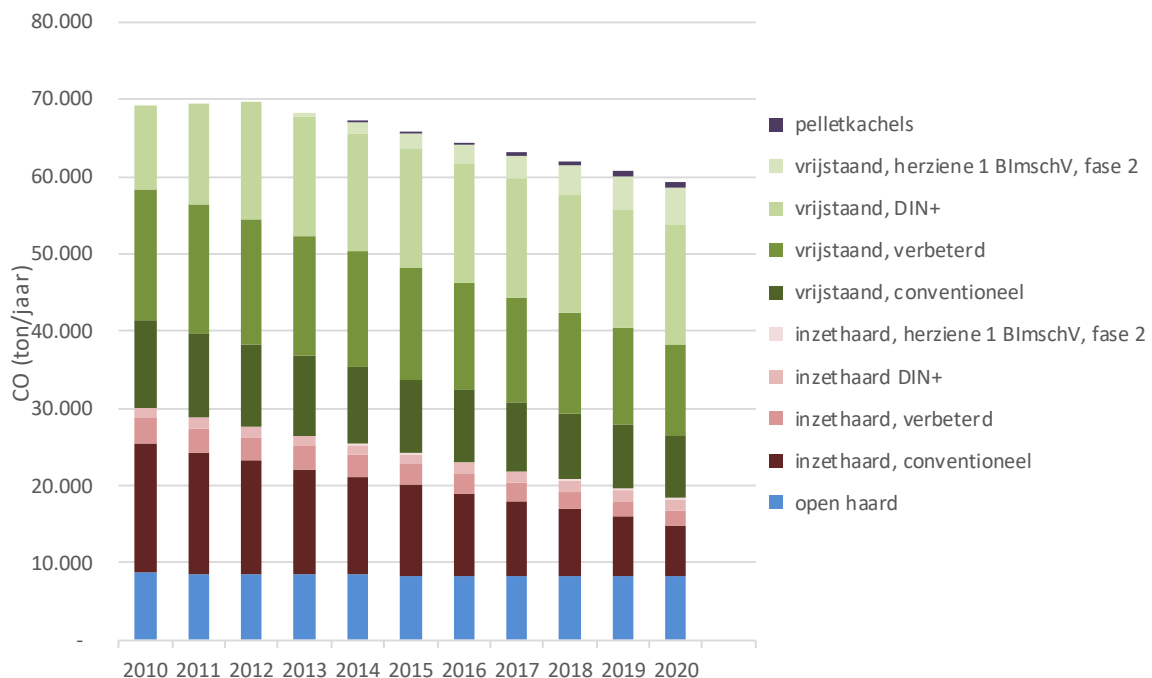
Figuur 3.3 De warmteproductie van kachels en open haarden bij particulieren tot 2020, uitgesplitst naar subtype [12, 47].



3.1.3 Uitstoot naar de lucht

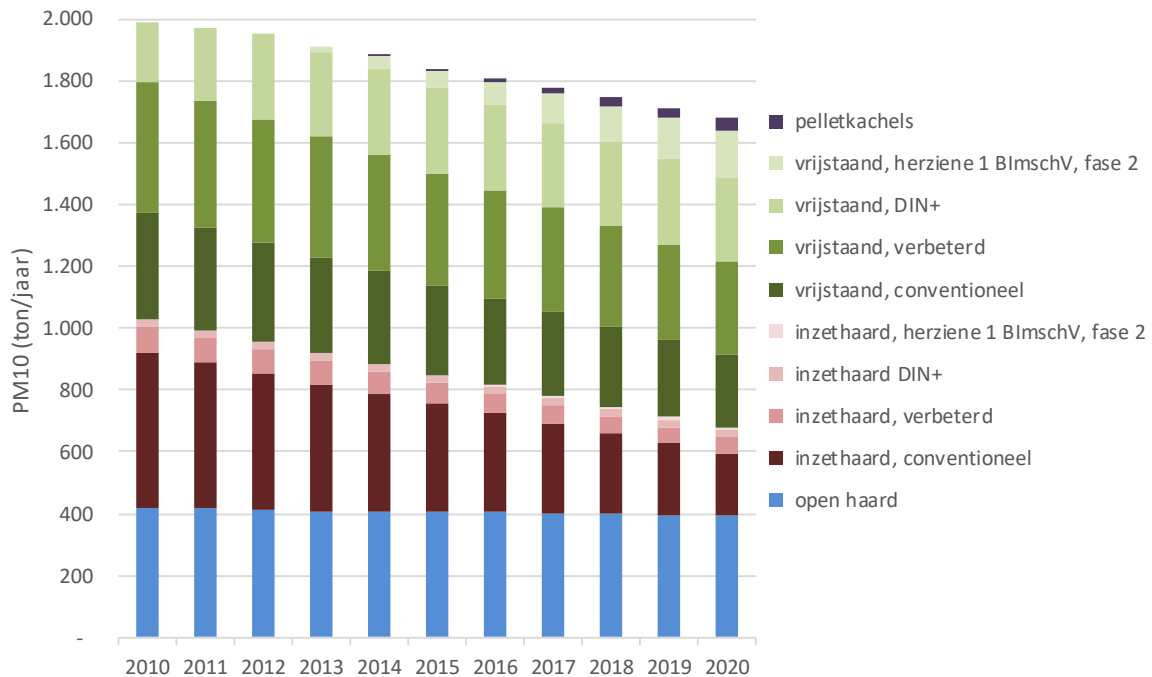
De uitstoot van houtkachels bij particulieren zoals vermeld in de Emissieregistratie is eveneens gebaseerd op het genoemde TNO model. Daarbij wordt het aangenomen jaarlijkse houtverbruik per type toestel vermenigvuldigd met de in Appendix 2 genoemde 'typische' emissiefactoren voor de betreffende toestellen. In de tabel in Appendix 2 is aanvullend onderscheid gemaakt tussen emissiefactoren welke vooral zijn gerelateerd aan het ontwerp van het verbrandingstoestel en emissiefactoren welke vooral zijn gerelateerd aan de samenstelling van de brandstof. Aanvullend op het TNO model is informatie over de categorie pelletkachels toegevoegd.

Ontwikkelingen in de uitstoot van CO zijn weergegeven in Figuur 3.4. Doordat nieuwere toestellen met een lagere uitstoot de oudere toestellen en open haarden vervangen neemt de uitstoot van CO af ondanks het toenemende houtgebruik (zie Figuur 3.2).



Figuur 3.4 De uitstoot van CO van kachels en open haarden bij particulieren tot 2020, uitgesplitst naar subtype (samengesteld uit [1] en [47]).

Figuur 3.5 geeft informatie over de primaire PM₁₀ uitstoot van houtkachels, gemeten volgens de *hot filter* methode. De PM₁₀ uitstoot neemt eveneens langzaam af, momenteel gaat het om bijna 1800 ton per jaar. Afgezien van de toevoeging van de categorie pelletkachels komt deze waarde overeen met de cijfers in de Emissieregistratie, zie ook Figuur 1.3.



Figuur 3.5 De directe uitstoot van fijnstof (PM10) van kachels en open haarden bij particulieren tot 2020, uitgesplitst naar subtype (samengesteld uit [1] en [47]). Gemeten volgens de hot filter methode.

Vergelijkbare situaties met een afname in de uitstoot van fijnstof ondanks een toename in gebruik wordt ook in andere landen worden waargenomen, zie bijvoorbeeld een recente studie uit UK [29].

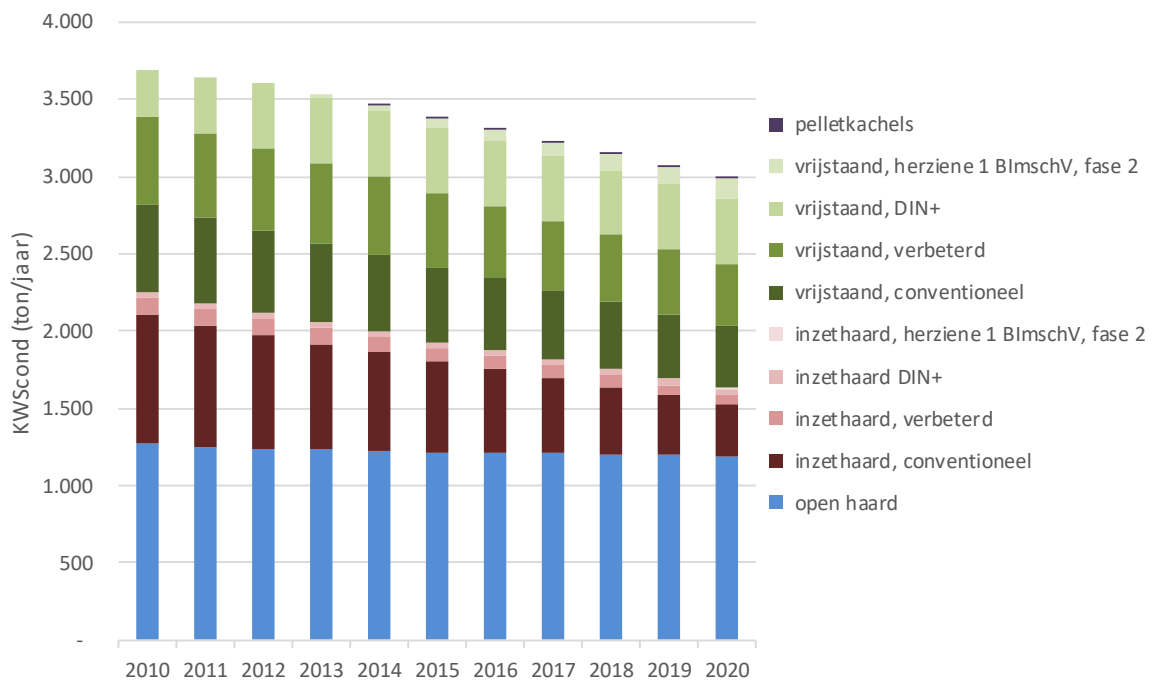
Wat verder opvalt bij vergelijking van Figuur 3.3 en Figuur 3.5 is dat open haarden en oudere kachels door de slechte verbranding en het lage rendement bij een relatief beperkte warmteproductie een fors aandeel hebben in de uitstoot aan de primaire uitstoot van fijnstof.

Verder is het essentieel te onderkennen dat de door TNO gedefinieerde hoeveelheid fijnstof beperkt is tot fijnstof wat tijdens de metingen op hogere temperatuur al in vaste vorm aanwezig is. Zoals 5.1 laat zien is er daarnaast ook sprake van (1) organische componenten welke na afkoeling uit de schoorsteen tot omgevingscondities condenseren (door TNO in Appendix 2 weergegeven als KWS_{cond}) en vervolgens als fijnstof meetbaar zijn, en (2) niet-condenseerbare organische componenten welke na reacties in de atmosfeer eveneens bijdragen aan secundair fijnstof in de omgeving.

De eerste component kan door het toepassen van een andere meetmethode op basis van de *dilution tunnel* en/of *impinger bottles* goed worden bepaald. Uit de aannames in Appendix 2 blijkt dat deze aanvullende hoeveelheid fijnstof (KWS_{cond}) ongeveer 30..40%

van de non-methane VOC bedraagt, of ca 1 tot 3 keer de directe hoeveelheid fijnstof. De totale uitstoot aan fijnstof zou daarmee (afhankelijk van het type toestel) een factor 2-4 groter kunnen zijn dan thans in het TNO model en de Emissieregistratie wordt vermeld. Dit blijkt ook uit een vergelijking met de emissiefactoren in de EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 [20], waarbij de emissiefactoren voor stof ca 2-4 maal hoger zijn dan in het TNO model weergegeven. Appendix 4 geeft hiervan een samenvatting. Overigens is het onduidelijk in hoeverre de opstartfase van toestellen steeds consequent is meegenomen in de verschillende emissiefactoren.

Bij een betere verbrandingskwaliteit neemt ook de uitstoot van VOC, NMVOC en KWS_{cond} af.



Figuur 3.6 Verwachte ontwikkelingen in de uitstoot van condenseerbare koolwaterstoffen uit kachels en open haarden bij particulieren tot 2020, wat niet wordt meegenomen in de *hot filter* methode (samengesteld uit [1] en [47]).

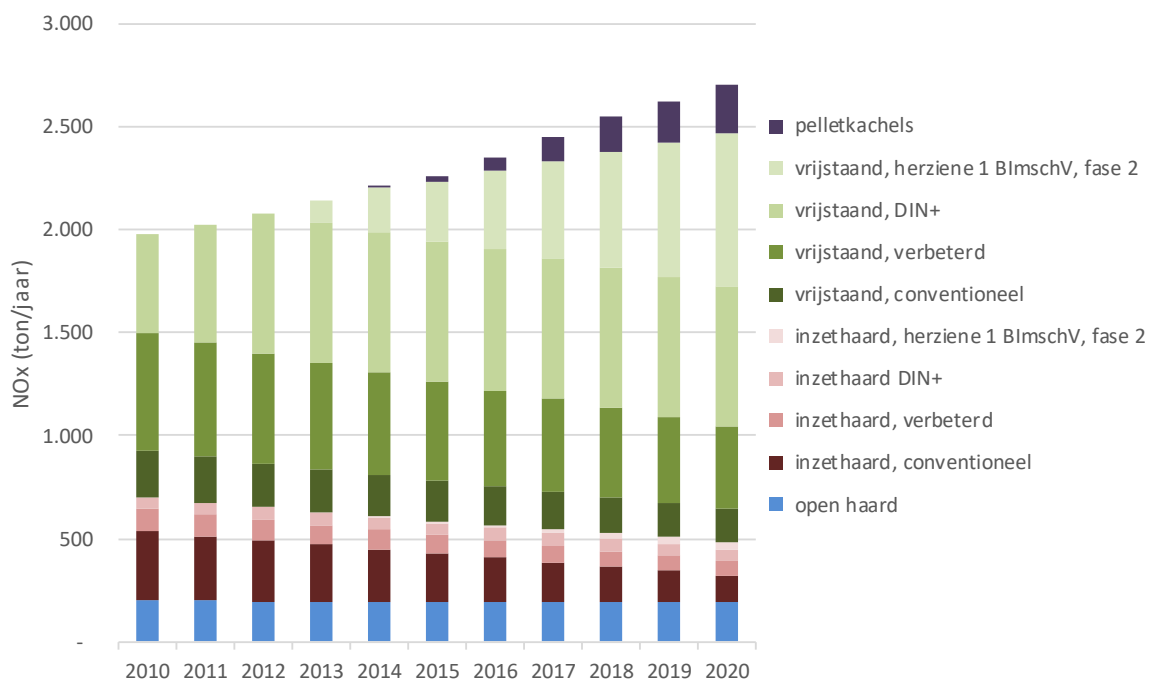
Voor het berekenen van de invloed van een houtkachel op lokale omgevingsconcentraties (zie bijv. hoofdstuk 7) moet ook KWS_{cond} worden meegenomen. In deze studie wordt KWS_{cond} gecorreleerd aan de hoeveelheid uitgestoten NMVOC door te stellen dat KWS_{cond} gemiddeld 30% bedraagt van de uitgestoten NMVOC.

Particuliere houtstook veroorzaakt behalve fijnstof ook emissies van andere componenten. De meest relevante componenten met gezondheidseffecten zijn organische stoffen zoals de 10 meest relevante Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen (PAK10) en dioxines



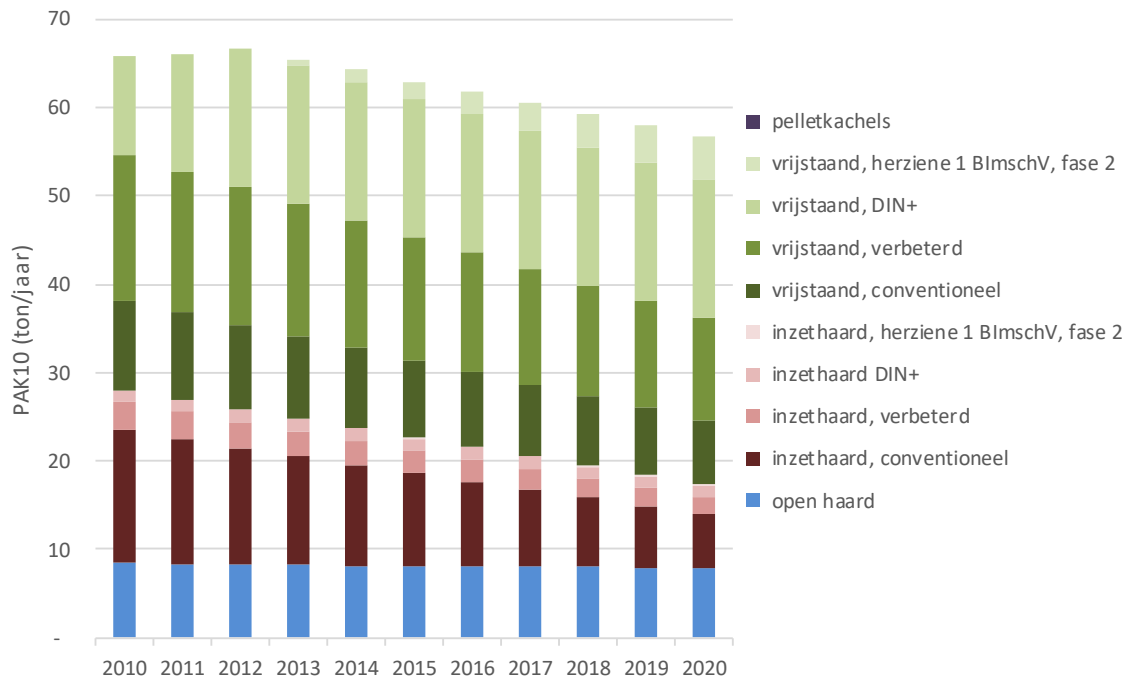
(PCDD/F). Deze stoffen worden in de emissieregeling als zeer zorgwekkende stoffen (ZZS) aangemerkt. Daarnaast is Nox belangrijk vanwege stikstofdepositie op gevoelige natuurgebieden, zie ook 4.4.

De vorming van **Nox** bij biomassaverbranding is vooral een gevolg van het 'brandstof'-Nox mechanisme waarbij een deel van de stikstof in de brandstof wordt geoxideerd. Door een optimaal brandkamerontwerp kan de uitstoot enigszins worden verlaagd, waardoor kleine verschillen in emissiefactoren tussen verschillende toestellen optreden. Zoals Figuur 3.7 laat zien, neemt door een toenemend houtverbruik ook de Nox uitstoot uit kachels en haarden toe. Overigens blijkt uit een vergelijking tussen de emissiefactoren welke door TNO worden gehanteerd en de emissiefactoren uit de EMEP/EEA database (vergelijk Appendix 2 met Appendix 4) dat TNO relatief hoge emissiefactoren voor kachels en haarden hanteert.



Figuur 3.7 Verwachte ontwikkelingen in de uitstoot van Nox uit kachels en open haarden bij particulieren tot 2020, uitgesplitst naar subtype (samengesteld uit [1] en [47]).

Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen (**PAK**)'s zijn het resultaat van onvolledige verbranding. Net als bij CO neemt de uitstoot af bij een beter verbrandingsproces. Door verbetering van de kwaliteit van de gebruikte kachels neemt de uitstoot van PAK uit houtkachels en open haarden af, ondanks de toename in het totale houtverbruik. In Figuur 3.8 is de ontwikkeling van de uitstoot van de 10 meest relevante PAK's (PAK10) weergegeven.

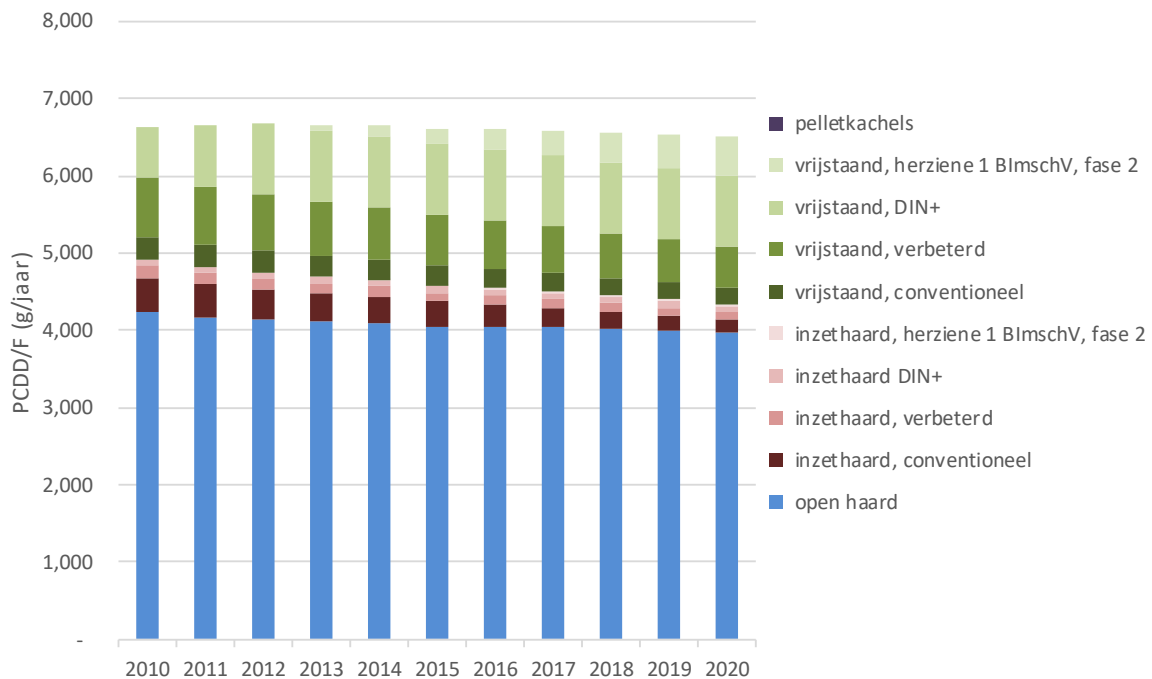


Figuur 3.8 Verwachte ontwikkelingen in de uitstoot van PAK10 uit kachels en open haarden bij particulieren tot 2020, uitgesplitst naar subtype (samengesteld uit [1] en [47]).

Voor **dioxines** wordt in de modellering door TNO en de Emissieregistratie aangenomen dat de emissiefactoren bij alle typen houtkachels gelijk zijn, nl. 174 ng/GJ (zie Appendix 2). Voor open haarden wordt uitgegaan van een aanzienlijk hogere uitstoot van 1613 ng/GJ. Omdat het gebruik van open haarden afneemt laat Figuur 3.9 ondanks het toenemende gebruik van gesloten kachels en haarden toch geen hogere dioxine-uitstoot zien.

Opgemerkt wordt dat hier sprake is van een grote onzekerheidsmarge omdat de emissiefactor van PCDD/F door veel verschillende factoren wordt beïnvloed zoals gebruikte brandstof, toestelontwerp en rookgasreiniging.

In de literatuur komen emissiefactoren voor houtkachels voor tussen 20 en 5000 ng/GJ [20]. Vooral de ongewenste stook van afval in houtkachels en open haarden leidt tot een sterk verhoogde dioxineuitstoot [10,70,69,72]. Net als in de EmissieRegistratie wordt er in deze studie van uitgegaan dat geen afval wordt gestookt. Het EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 gaat overigens uit van ca 40% lagere emissiefactoren voor dioxines dan de TNO waarden (zie Appendix 4).



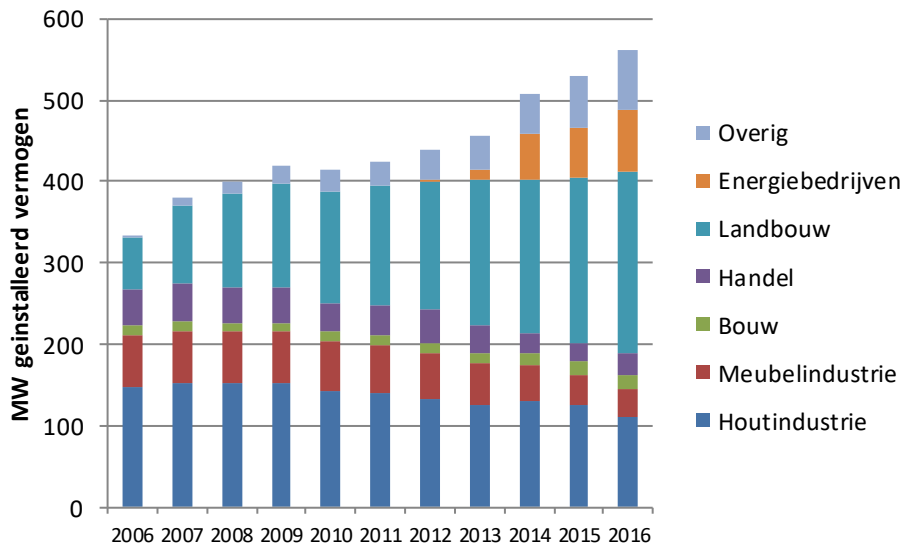
Figuur 3.9 Verwachte ontwikkelingen in de uitstoot van dioxines van kachels en open haarden bij particulieren tot 2020, uitgesplitst naar subtype (samengesteld uit [1] en [47]).

3.2 Biomassagestookte ketels voor warmte bij bedrijven

3.2.1 Aantallen ketels en opgesteld vermogen

Voor de houtgestookte ketels tot 5 MW bij bedrijven is het opgestelde vermogen weergegeven in Figuur 3.10. Het CBS verzamelt deze gegevens van ketelleveranciers en uit de SDE- en ISDE-regelingen. De grafiek laat duidelijk zien dat er in de laatste 10 jaar een verschuiving heeft plaatsgevonden in het toepassingsgebied van de stook van resthout in de houtverwerkende industrie, meubelindustrie, bouw en handelgerelateerde bedrijven naar de opwekking van warmte bij andere warmtevragers zoals de landbouw (bijv. slachtkuikenhouders, glastuinbouw), energiebedrijven (bijv. warmtenetten) en overige toepassingen (bijv. zwembaden, kantoren, appartementencomplexen) .

Naast de biomassagestookte ketels welke alleen warmte produceren (Figuur 3.10) zijn er ook een aantal grotere biomassagestookte ketels welke naast warmte ook elektriciteit produceren. Deze vallen buiten deze statistiek.



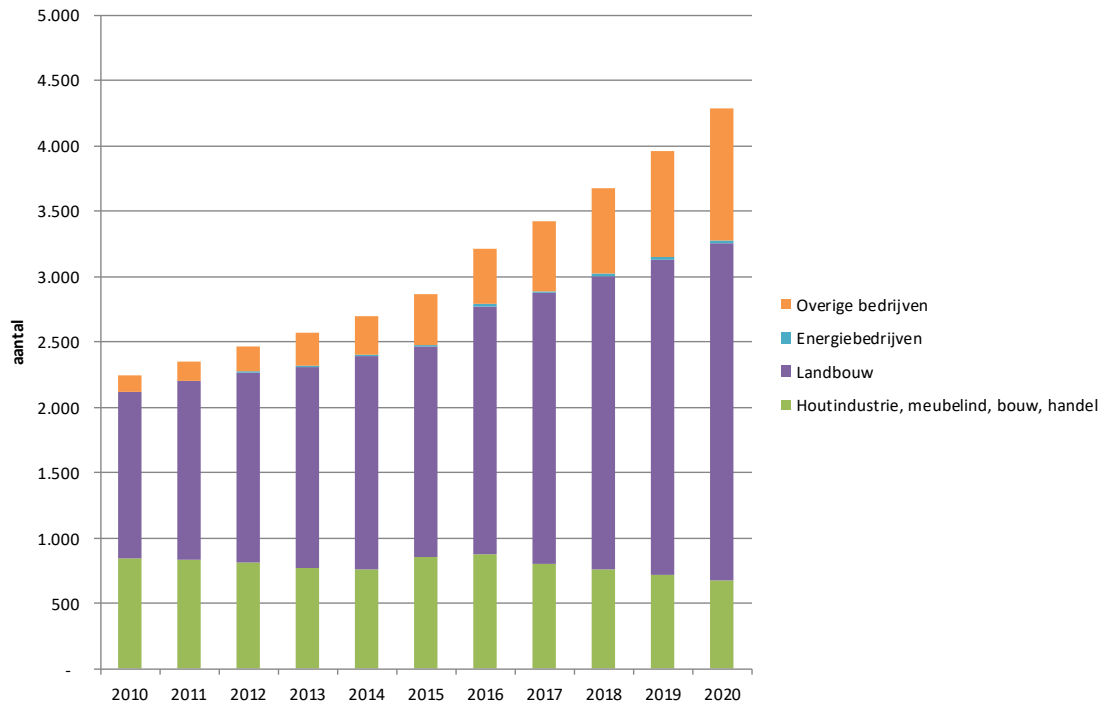
Figuur 3.10 Het opgestelde vermogen aan houtgestookte ketels tot 5 MW voor warmteopwekking bij bedrijven. (afgeleid van [14]).

Een uitsplitsing naar vermogens per sector is weergegeven in Tabel 3.1. Hieruit valt op dat er vooral veel relatief kleine ketels zijn geplaatst in de landbouwsector.

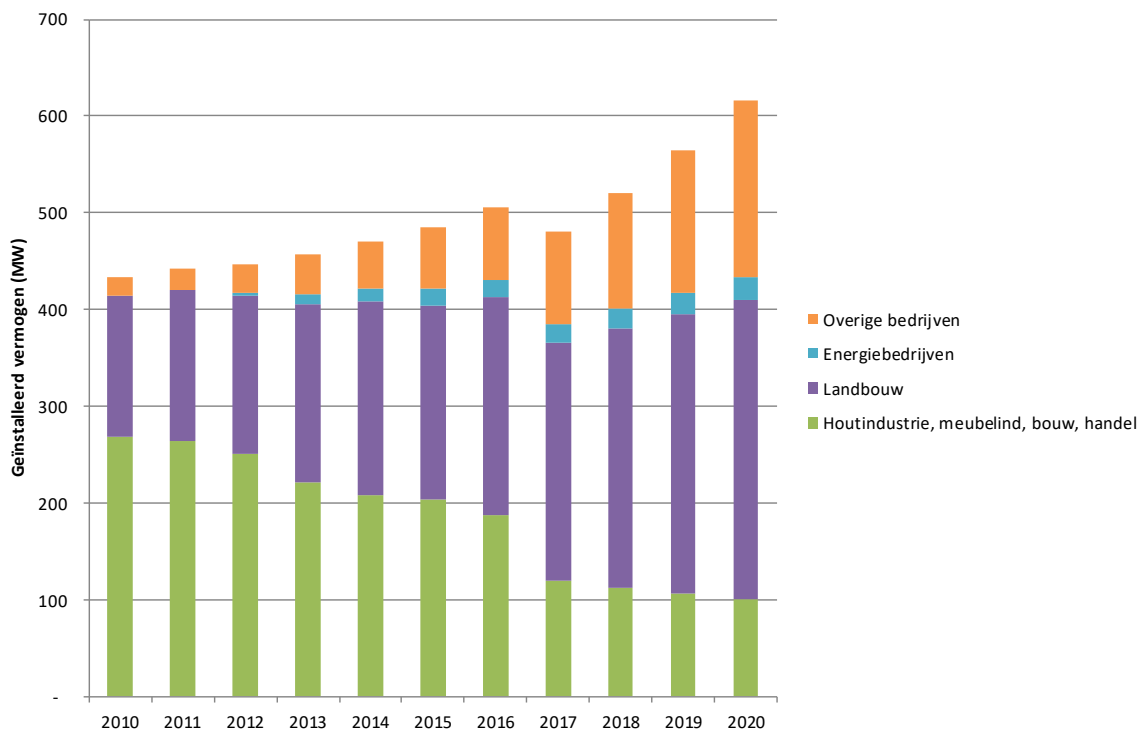
Tabel 3.1 Geïnstalleerd vermogen van houtgestookte ketels tot 5 MW voor warmte bij bedrijven per einde 2016 (afgeleid van [14])

	<0,1 MW (MW)	0,1..0,5 MW (MW)	0,5-1 MW (MW)	1..5 MW (MW)	Totaal (MW)
Houtindustrie	17	29	15	50	111
Meubelindustrie	2	6	5	21	34
Bouw	7	7	3		17
Handel	7	7	2	9	25
Landbouw	85	77	39	24	225
Energiebedrijf			6	56	62
Overig	18	24	9	25	76
Totaal	136	150	79	185	550

Naast de houtgestookte ketels worden een aantal ketels welke meestal groter zijn dan 5 MW gestookt op andere soorten biomassa. Deze vallen vanwege de scope van dit onderzoek buiten de cijfers van Figuur 3.10 en Tabel 3.1. Het aantal ketels per sector tot 5 MW is weergegeven in Figuur 3.11. Zoals uit Figuur 3.12 blijkt, neemt alleen het opgestelde vermogen in de houtverwerkende industrie af, met een sprong in 2017 toen er een vanwege aanscherping van het emissieregime voor ketels > 1 MW verschillende installaties zijn gesloten.



Figuur 3.11 Het aantal biomassagestookte ketels per sector.

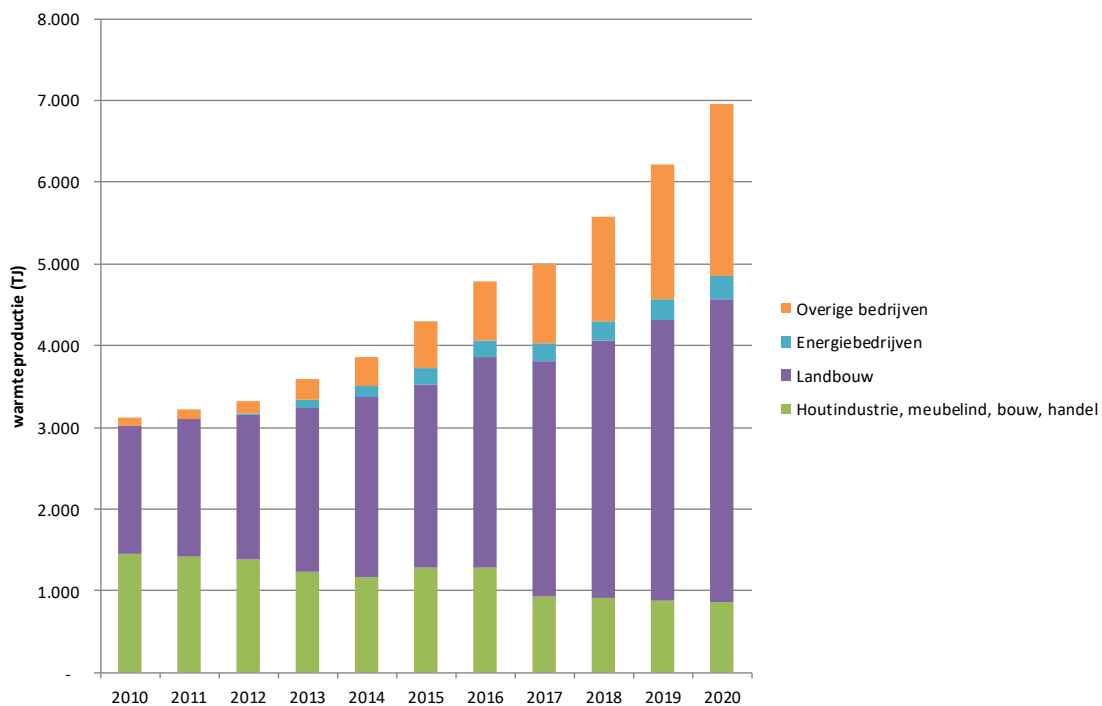


Figuur 3.12 Het opgestelde vermogen aan biomassagestookte ketels tot 5 MW per sector.

3.2.2 Warmteproductie uit houtgestookte ketels

Voor de houtgestookte ketels welke groter zijn dan 500 kW en vallen onder de SDE+ regeling beschikt het CBS over actuele warmteproductiecijfers. Voor de kleinere ketels en ketels welke geen SDE+ subsidie ontvangen wordt de warmteopwekking door CBS gebaseerd op een geschat aantal vollasturen: 3000 in de landbouw en 1500 vollasturen bij de overige sectoren [12].

In totaal wordt er volgens CBS 8,3 PJ aan warmte geproduceerd uit alle biomassaketels, met een biomassaverbruik van 10 PJ [12]. Daarvan is naar schatting ca 5,5 PJ aan warmte afkomstig uit ketels welke worden gestookt met hout.



Figuur 3.13 Warmteproductie uit houtgestookte ketels tot 5 MW (TJ/jaar).

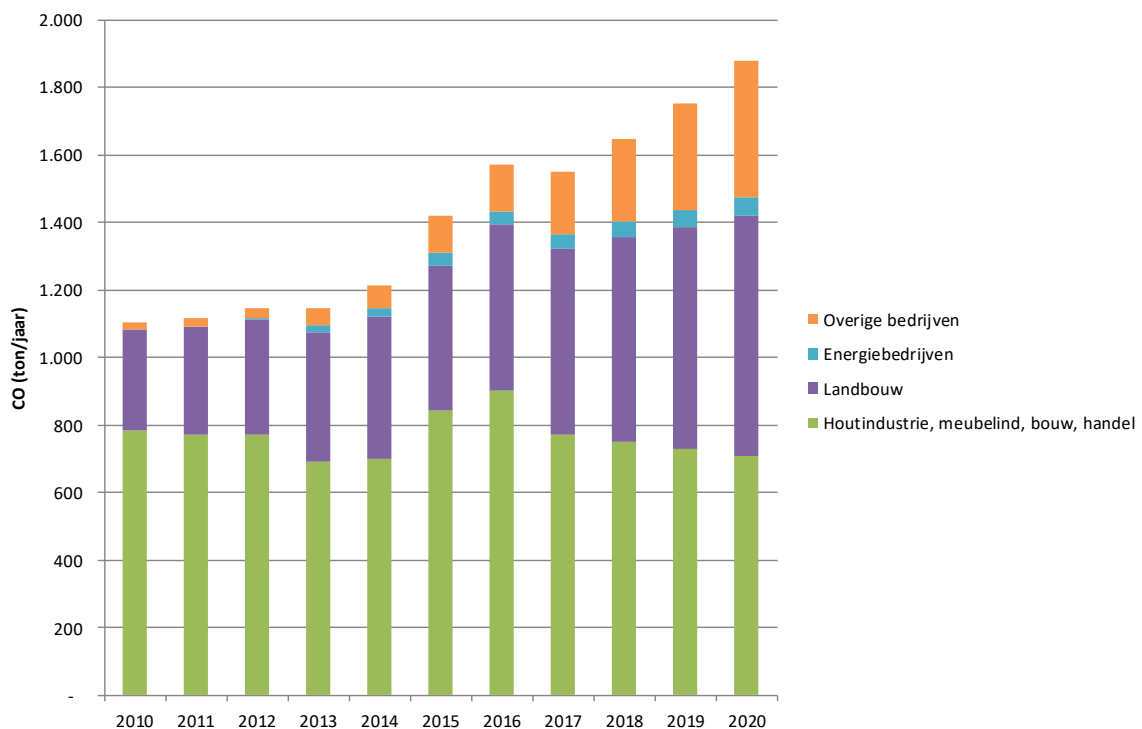
3.2.3 Uitstoot naar de lucht

In de Emissieregistratie ontbreken specifieke gegevens over de uitstoot van houtgestookte ketels voor warmteopwekking, deze maken nl. onderdeel uit van een indeling op bedrijfsniveau en zijn daarom niet direct te herleiden naar de specifieke toepassing van biomassaverbranding. Op basis van bovenstaande CBS gegevens m.b.t. het aantal ketels per sector, de vermogensopbouw en het gebruik ervan kon samen met gegevens over de leeftijdsopbouw, typische emissiefactoren voor deze installaties en de geldende emissie-eisen aan deze installaties toch een inschatting worden gemaakt. Dit rekenmodel is eerder beschreven in een in 2014 uitgevoerde scenariorapportage [57]. Door dit rekenmodel in het kader van onderhavig onderzoek te actualiseren naar de huidige situatie en een vooruitblik



te maken op basis van de prognoses in Nederlandse Energie Verkenning kon een inschatting worden gemaakt van de ontwikkeling in brandstofverbruik en uitstoot (CO, stof, NO_x, VOC, PAK en dioxines).

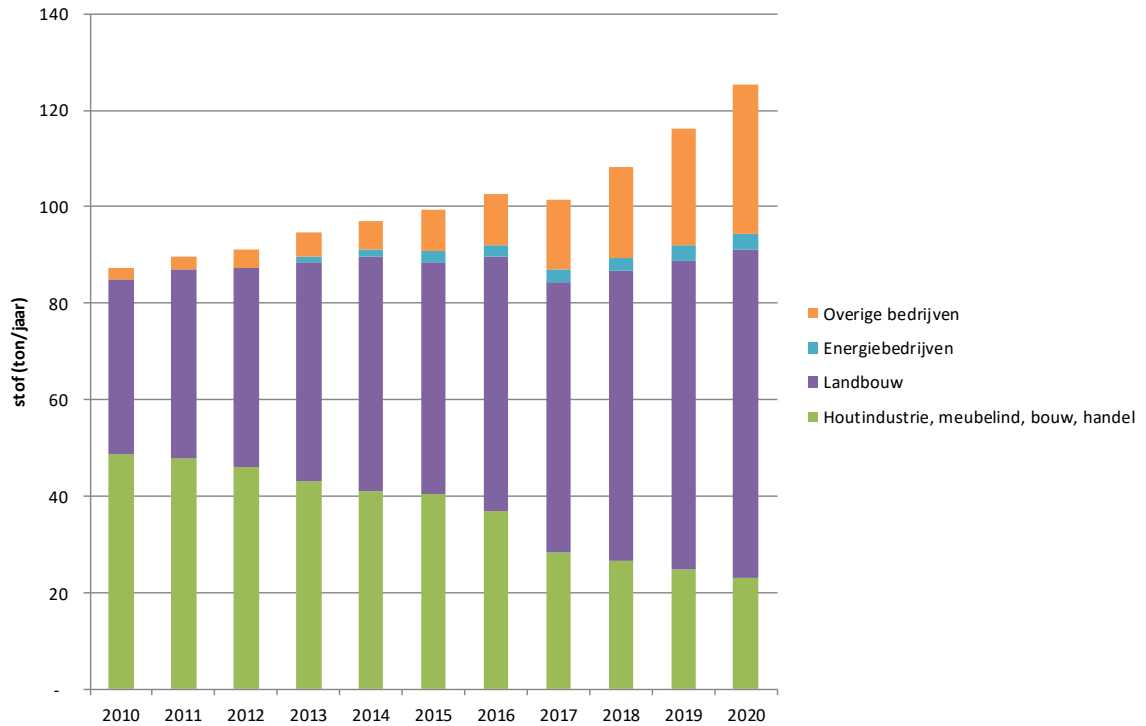
De uitstoot van CO uit houtgestookte ketels is weergegeven in Figuur 3.14. Deze wordt thans gekwantificeerd op ca. 1600 ton/jaar. Omdat er weinig variatie is aangenomen in de emissiefactor aan CO voor verschillende typen ketels leidt toenemend gebruik van biomassaketels tot een hogere uitstoot.



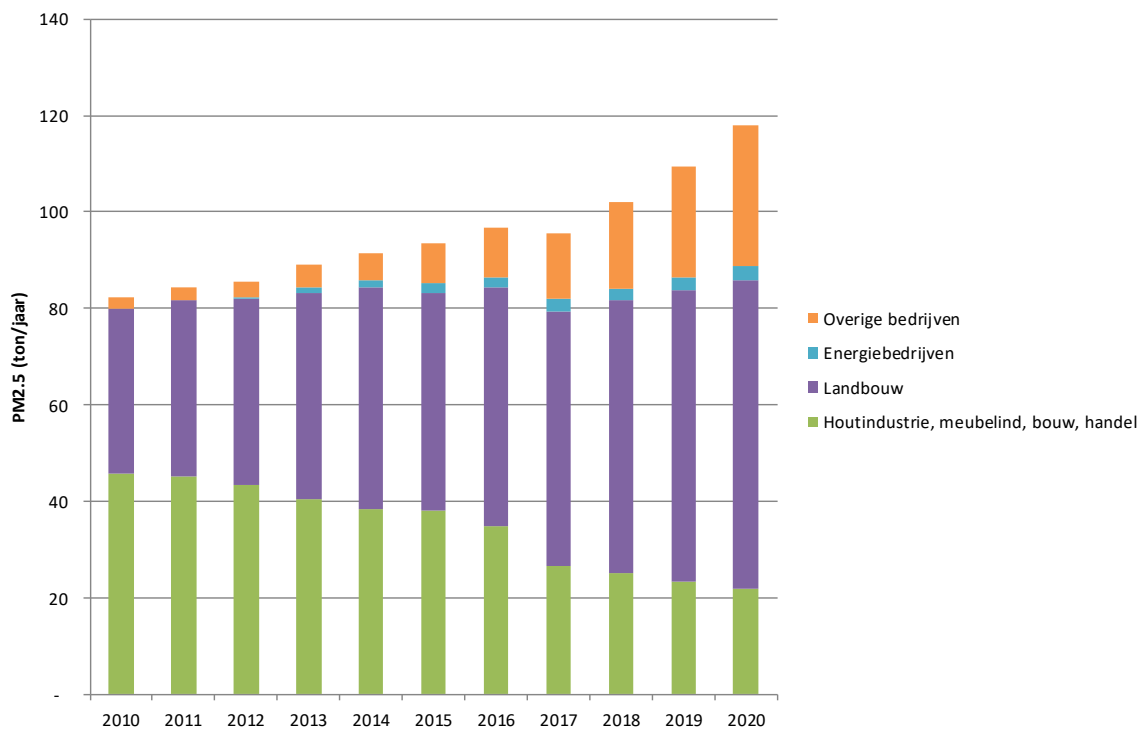
Figuur 3.14 CO uitstoot uit houtgestookte ketels tot 5 MW (ton/jaar).

De huidige uitstoot van fijnstof uit houtgestookte ketels tot 5 MW wordt in dit rapport gekwantificeerd op ca 108 ton per jaar. De stofuitstoot wordt vooral veroorzaakt door ketels welke eerder in de landbouw zijn geplaatst. Dit betreft vaak ketels welke onder een relatief mild emissieregime (NER-F7) konden worden geplaatst en niet hoefden te worden uitgerust met uitvoerige nageschakelde rookgasreiniging zoals onder de huidige eisen van het huidige Activiteitenbesluit meestal wel noodzakelijk is.

Uit vergelijking van Figuur 3.13, Figuur 3.15 en Figuur 3.16 blijkt dat de uitstoot van fijnstof uit houtgestookte ketels minder snel groeit dan de warmteproductie. Een van de redenen hiervoor is het uifaseren van verouderde ketelinstallaties in de houtverwerkende industrie en de strengere eisen die worden opgelegd aan nieuwe installaties.



Figuur 3.15 De uitstoot van fijnstof door houtgestookte ketels tot 5 MW (ton/jaar).

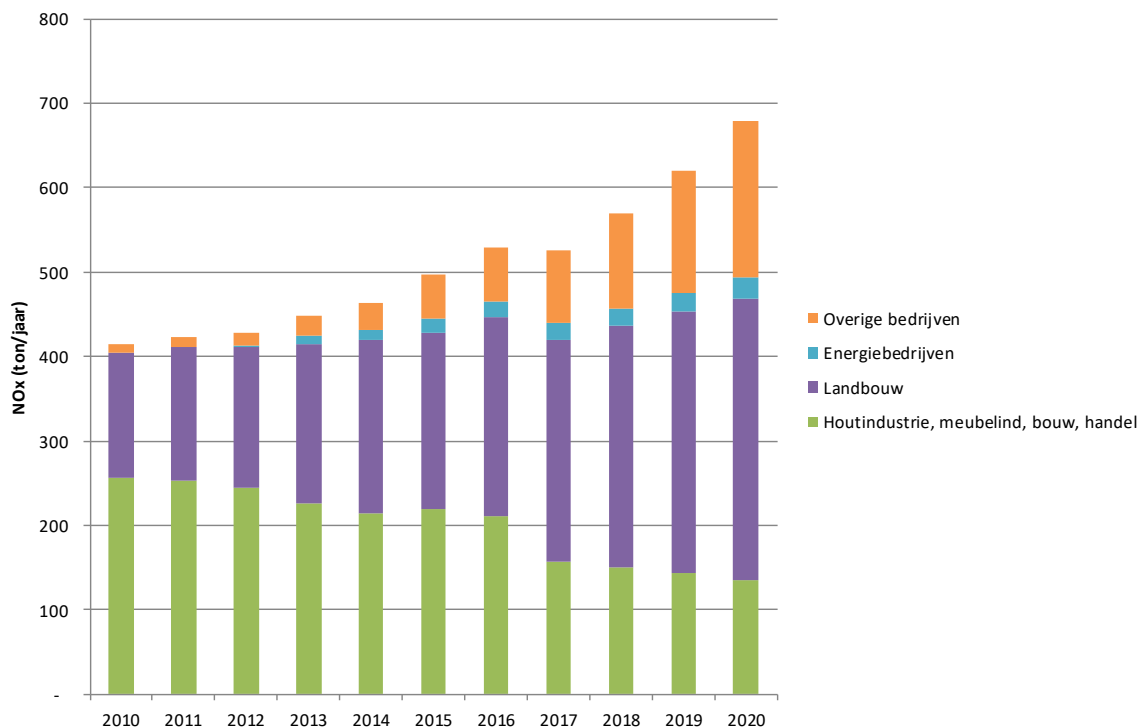


Figuur 3.16 De uitstoot van PM2.5 door houtgestookte ketels tot 5 MW (ton/jaar).



In vergelijking tot kachels en haarden worden automatische ketels gekenmerkt door een hogere verbrandingstemperatuur met vaak langere verblijftijden, meer gecontroleerde luchttoevoer en daardoor een betere verbrandingskwaliteit. Dit leidt tot lagere emissiefactoren voor onverbrande koolwaterstoffen (KWScond, PAK en dioxines)[22]. De totale dioxineuitstoot bij houtgestookte ketelininstallaties wordt geschat op ca 0,1 g per jaar. Dit wordt voornamelijk bepaald door de kleinere ketels in de landbouwsector, welke niet zijn uitgerust met nageschakelde stofreiniging (doekfilter of elektrostatisch filter).

Vanwege de groeiende toepassing van houtgestookte ketels neemt wel de jaarvracht aan Nox toe. Voor houtgestookte ketelininstallaties tot 5 MW is nageschakelde reiniging (SNCR) in sommige gevallen noodzakelijk om te voldoen aan de eisen voor Nox onder het Activiteitenbesluit. Voor installaties vanaf 5 MW (welke vallen buiten de scope van dit onderzoek) gelden strengere eisen waardoor nageschakelde reiniging (SNCR en evt SCR) normaliter nodig is.



Figuur 3.17 De uitstoot van Nox door houtgestookte ketels tot 5 MW (ton/jaar).

Een samenvatting van de uitstoot uit biomassagestookte ketels naar de opgelegde emissie-eis is weergegeven in Tabel 3.2. Hieruit blijkt dat de uitstoot van zowel stof als Nox vooral wordt veroorzaakt door relatief kleine ketels tot 1 MW.



Tabel 3.2 Uitstoot uit houtgestookte ketels, gedifferentieerd naar emissieregime (2018).

Emissieregelgeving	NER-F7			Activiteitenbesluit				Totaal
	<0,5 MW	0,5..1 MW	> 1 MW	<0.5 MW	0.5-1 MW	0-1 MW	1-5 MW	
In bedrijf sinds	<2013	<2013	<2010	2013-2014	2013-2014	> 2015	>2010	
aantal	1.475	53	-	472	36	1.594	48	3.677
Geïnst. Vermogen (MW)	133	38	-	44	26	181	98	520
warmteproductie (TJ)	1.162	289	-	376	220	2.287	1.241	5.575
biomassaverbruik (TJ)	1.339	331	-	435	251	2.627	1.425	6.408
CO (ton/jaar)	350	114	-	91	80	645	366	1.645
stof (ton/jaar)	35	7	-	10	6	40	11	108
PM10 (ton/jaar)	34	7	-	10	5	38	10	105
PM2.5 (ton/jaar)	33	7	-	9	5	37	10	102
PM1 (ton/jaar)	32	7	-	9	5	36	10	99
Nox (ton/jaar)	148	30	-	42	22	213	115	570
VOC (ton/jaar)	18	1	-	3	1	10	5	39
NMVOC (ton/jaar)	12	1	-	2	1	9	5	30
KWScond (ton/jaar)	4	0	-	1	0	3	1	9
PCDD/F (g/jaar)	0,04	0,00	-	0,02	0,00	0,01	0,00	0,07

3.3 Verbranding van biomassa buitenshuis

Naast de verbranding van biomassa in kachels en ketels voor doelbewuste warmteopwekking wordt er ook buitenshuis hout gestookt in open vuren, vuurkorven, vuurschalen, tuinhaarden, pizza-ovens, etc. Helaas worden geen statistieken bijgehouden over de hoeveelheden biomassa die op deze wijze worden ingezet, bijvoorbeeld omdat er geen energetische benutting plaatsvindt. Ook valt deze wijze van houtstook buiten de Emissieregistratie.

Een eerste schatting van de uitstoot kan worden gedaan op basis van informatie uit het Woon Onderzoek van het CBS [13]. Volgens dit onderzoek is er sprake van ca. 1,4 miljoen vuurkorven welke gemiddeld ca. 4 keer per jaar wordt gestookt. Bij een aangenomen houtverbruik van 5 kg per keer betekent dit dat er ongeveer 30 miljoen kg hout wordt gestookt. Met een primaire emissiefactor voor open vuren in de orde grootte van 303-850 mg/MJ [83] betekent dit dat er ca 80-230 ton aan PM₁₀ per jaar wordt uitgestoten door vuurkorven. Ten opzichte van de ca. 1700 ton per jaar PM₁₀ uit particuliere houtstook in kachels en haarden in Nederland is dit niet verwaarloosbaar (zie hoofdstuk 3.1). Het is van dezelfde orde grootte als de uitstoot van PM₁₀ uit biomassagestookte ketels (105 ton/jaar, zie 3.2). Daarnaast zijn er verschillende andere toepassingen waar hout in de open lucht wordt gestookt. Het is daarom relevant dat hierover betere statistieken worden ontwikkeld.



4 Wet en regelgeving

Dit hoofdstuk beschrijft de wettelijke normen voor de luchtkwaliteit en de eisen voor plaatsing en gebruik van kachels en ketels. Dit is vooral van belang vanwege de relatie tussen de wijze van plaatsing en het voorkomen van hinder voor de omgeving.

4.1 Wettelijke normen voor fijnstof en achtergrondbelasting

De Europese Unie heeft zich ten doel gesteld om voor diverse luchtverontreinigende stoffen voorstellen te formuleren van grenswaarden voor de luchtkwaliteit ter bescherming van mens en milieu. Het beleid richt zich nadrukkelijk op de bescherming van het leefmilieu en het verbeteren van dit leefmilieu. In Nederland is dit vertaald naar luchtkwaliteitseisen in de Wet Milieubeheer. De kern van de luchtkwaliteitseisen bestaan uit de (Europese) luchtkwaliteitseisen. De uitvoeringsregels behorend bij de wet zijn vastgelegd in algemene maatregelen van bestuur (AmvB) en ministeriële regelingen (MR).

De grenswaarde voor de jaargemiddelde PM₁₀ concentratie bedraagt 40 µg/m³. De grenswaarde als 24-uursgemiddelde die 35 keer per jaar mag worden overschreden bedraagt 50 µg/m³ [Staatsblad 414, Bijlage 2 bij de Wet milieubeheer, voorschrift 4.1].

De grenswaarde voor de jaargemiddelde PM_{2,5} concentratie bedraagt 25 µg/m³ [Staatsblad 158, Bijlage 2 bij de Wet milieubeheer, voorschrift 4.3].

De WHO heeft ook grenswaarden voor de luchtkwaliteit vastgesteld die veelal strenger zijn dan de Europese grenswaarden. Tabel 4.1 toont de grenswaarden van PM₁₀ en PM_{2,5} van de Europese richtlijn en de WHO richtwaarden.

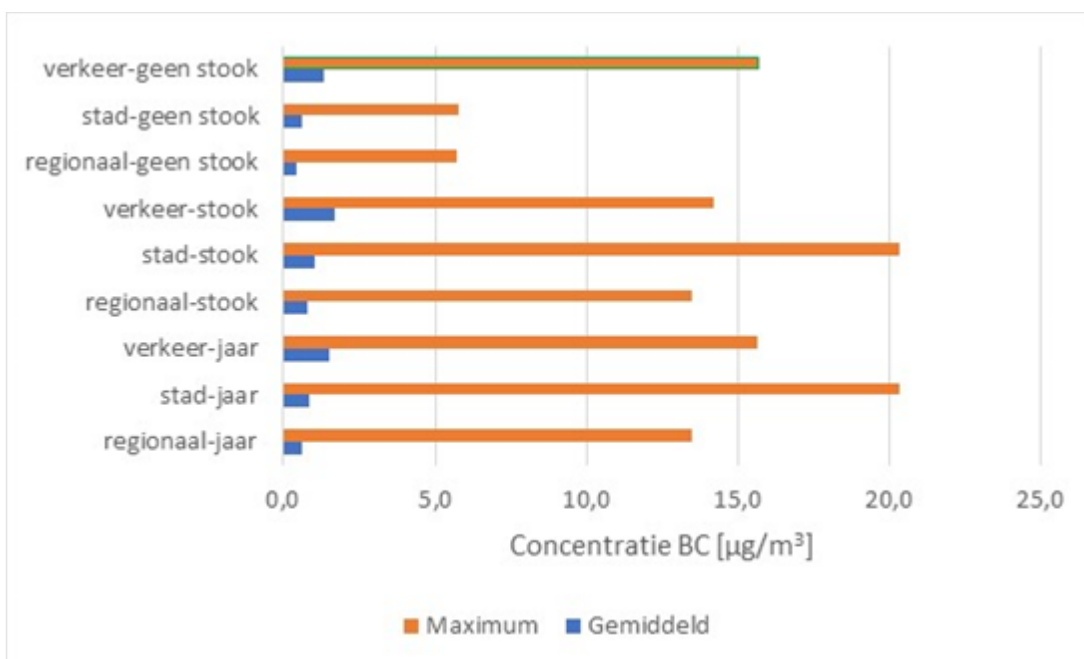
Tabel 4.1 Wettelijke grenswaarden en WHO advieswaarden voor PM₁₀ en PM_{2,5}

Stof	Soort norm	Wettelijke grenswaarden		WHO advieswaarden
		Concentratie	Status	Concentratie
PM ₁₀	Jaargemiddelde	40 µg/m ³	Grenswaarde	20 µg/m ³
	Daggemiddelde	50 µg/m ³	Grenswaarde – Mag max. 35 keer per jaar worden overschreden	50 µg/m ³
PM _{2,5}	Jaargemiddelde	25 µg/m ³	Grenswaarde	10 µg/m ³
	Jaargemiddelde	20 µg/m ³	Indicatieve grenswaarde (vanaf 2020)	
	Daggemiddelde			25 µg/m ³

Meestal wordt voldaan aan de wettelijke eisen. In Nederland bedraagt de gemiddelde stedelijke achtergrondconcentratie van PM₁₀ 26 µg/m³ en van PM_{2,5} 18 µg/m³ [50]. Dit kan echter gepaard gaan met aanzienlijke uitschieters, zie bijvoorbeeld Figuur 7.8 voor roet als onderdeel van fijnstof. Voor lokale overheden is het daggemiddelde daarom belangrijk

omdat deze grens eerder overschreden dan een jaargemiddelde. Het streven van de overheid is om de luchtkwaliteit zo veel mogelijk te verbeteren en toe te werken naar de WHO normen.

Specifiek voor roet gelden geen wettelijke eisen. In Nederland wordt zwarte rook (*black carbon* – BC⁶) bij een aantal meetstations van het landelijk meetnet luchtkwaliteit gemeten (<https://www.luchtmeetnet.nl>). De in 2017 gemeten BC concentraties in het landelijk meetnet staan weergegeven in Figuur 4.1. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de regionale -, stedelijke – en de door het verkeer beïnvloede achtergrondconcentraties. Ook is onderscheid gemaakt tussen de waarden tijdens en buiten het stookseizoen.



Figuur 4.1 In 2017 met het landelijk meetnet luchtkwaliteit gemeten *black carbon* concentraties (www.luchtmeetnet.nl)

- In de regio bedroeg de achtergrondconcentratie aan BC buiten het stookseizoen 0,4 µg/m³, oplopend naar gemiddeld 0,8 µg/m³ in het stookseizoen met uitschieters naar 13,5 µg/m³.
- In stedelijk gebied bedroeg de achtergrondconcentratie aan BC buiten het stookseizoen 0,6 µg/m³, oplopend naar gemiddeld 1,0 µg/m³ in het stookseizoen met uitschieters naar 20,4 µg/m³.

⁶ Er is een relatie tussen BC – dat in het landelijk meetnet gemeten wordt - en *elemental carbon* (EC). De verhouding tussen BC en EC varieert per onderzoek tussen de 0,7 – 1.



4.2 Eisen en richtlijnen m.b.t. plaatsing en gebruik van kachels

Om te voorkomen dat er overmatige uitstoot en overlast optreedt door het gebruik van houtkachels worden er eisen gesteld aan het toestel zelf en de wijze waarop deze is geïnstalleerd.

4.2.1 Eisen aan het toestel

Voor stookhoutgestookte kachels, haarden en open haarden worden op dit moment in Nederland vrijwel geen eisen gesteld aan de uitstoot. Voor kachels geldt in Nederland dat er alleen een verplichte Europese CE keur moet zijn uitgevoerd waaruit blijkt dat het toestel veilig kan worden bedreven terwijl ook een minimale verbrandingskwaliteit wordt bereikt. In vergelijking tot de andere eisen die hieronder volgen, zijn dit relatief lage eisen.

- Voor inzethaarden (EN13229) geldt dat het rendement tenminste 30% moet zijn en de CO emissie niet hoger dan 12500 mg/m³ bij 13 % O₂.
- Voor vrijstaande kachels (EN13240) geldt een minimaal rendement van 50% en een CO emissie van maximaal 12500 mg/m³ bij 13% O₂.

Wanneer deze eisen worden vergeleken met gangbare producteisen in het buitenland (bijv de Duitse 1.BimSchV) kan worden geconcludeerd dat deze typekeur vrijwel altijd worden gehaald. Hierdoor zijn er grote verschillen in kwaliteit, prijs en uitstoot van in Nederland verkochte houtkachels, variërend van enkele honderden Euros voor eenvoudige toestellen bij de bouwmarkt tot enkele duizenden Euros voor toestellen welke voldoen aan stringente Duitse eisen bij de professionele houtkachelbranche.

Met de introductie van de ECODESIGN verordening zullen vanaf 2022 alle verkochte toestellen een lage uitstoot tijdens typekeuring moeten hebben. Open haarden worden niet gezien als een toestel, hiervoor gelden dan ook geen producteisen zoals CE typekeur. Sinds 2018 is in Europa Ecolabelling verplicht voor houtgestookte kachels en haarden, waardoor consumenten snel informatie kunnen krijgen over capaciteit en rendement van verschillende toestellen.

Voor pelletkachels gelden behalve de CE typekeur (vastgesteld volgens EN14785) geen wettelijke eisen. Wanneer er echter sprake is van een ISDE gesubsidieerde pelletkachel (wat in de praktijk vrijwel altijd het geval is), moet deze nu al voldoen aan de eisen uit ECODESIGN voor de uitstoot onder nominale condities (verordening (EU) 2015/1185). Ook moet de pelletkachel in het geval van een ISDE subsidie worden geïnstalleerd door een 'deskundige installateur'. In de ISDE regeling ontbreekt echter een normatieve verwijzing naar het begrip 'deskundig' waardoor dit niet nog geen garantie is voor een optimale installatie.

4.2.2 Eisen aan de installatie en mogelijkheden tot handhaving

Behalve de kwaliteit van de kachel zelf moet deze ook goed worden geïnstalleerd en bedreven om overlast te voorkomen. Om te voorkomen dat er overlast optreedt en dat er veilig wordt gestookt zijn er voor houtkachels bij particulieren technische voorschriften opgenomen in het Bouwbesluit. Ook zijn er verschillende NEN normen relevant voor de wijze van installatie (zie Tabel 4.2). Aanvullend hierop kunnen gemeenten middels een



lokale gemeentelijk bouwverordening eisen stellen aan de wijze van installatie en het gebruik ervan.

Tabel 4.2 Lijst van NEN-normen waar de opstelling van een hout- of pellethaard aan moet voldoen (Bron NHK Vakopleiding 2018).

Norm	Omschrijving
NEN2757	Toevoer van verbrandingslucht en afvoer van rook van verbrandingstoestellen in gebouwen – Bepalingsmethoden
NEN1087	Ventilatie van gebouwen – bepalingmethoden voor nieuwbouw
NEN6061	Bepaling van de weerstand tegen het ontstaan van brand bij stookplaatsen
NEN6062	Bepaling van de brandveiligheid van rookgasafvoervoorzieningen – Algemeen
NEN6063	Bepaling van het brandgevaarlijk zijn van daken
NEN6064	Bepaling van de onbrandbaarheid van bouwmaterialen
NEN6068	Bepaling van weerstand tegen branddoorslag en -overslag
NEN8062	Brandveiligheid van gebouwen – Methode voor het beoordelen van brandveiligheid van rookgasafvoervoorzieningen van bestaande gebouwen
NEN8757	Afvoer van rook van verbrandingstoestellen in gebouwen – bepalingmethoden voor bestaande bouw
NEN EN 13501-1	Brandclassificatie van bouwproducten en bouwdelen

Gemeenten moeten handhavend optreden tegen hinderlijke of schadelijke rook, roet en stank op basis van het Bouwbesluit 2012 artikel 7.17 en art 7.22:

Bouwbesluit 2012 artikel 7.17

Het gebruik van een bouwwerk, open erf en terrein is zodanig dat hinder, gezondheidsrisico's en andere veiligheidsrisico's dan brandveiligheidsrisico's voor personen in voldoende mate worden beperkt.

Bouwbesluit 2012 artikel 7.22

Onverminderd het bij of krachtens dit besluit of de Wet milieubeheer bepaalde is het verboden in, op of aan een bouwwerk of op een open erf of terrein voorwerpen of stoffen te plaatsen, te werpen of te hebben, handelingen te verrichten of na te laten of werktuigen te gebruiken, waardoor:

- a) op voor de omgeving hinderlijke of schadelijke wijze rook, roet, walm of stof wordt verspreid;
- b) overlast wordt of kan worden veroorzaakt voor de gebruikers van het bouwwerk, het open erf of terrein;
- c) op voor de omgeving hinderlijke of schadelijke wijze stank, stof of vocht of irriterend materiaal wordt verspreid of overlast wordt veroorzaakt door geluid en trilling, elektrische trilling daaronder begrepen, of door schadelijk of hinderlijk gedierte, dan wel door verontreiniging van het bouwwerk, open erf of terrein;
- d) instortings-, omval- of ander gevaar wordt veroorzaakt.

In het Bouwbesluit 2012 zijn verder ook eisen opgenomen over brandveiligheid, bijvoorbeeld dat de uitmondingsopening ten minste 15 m van een brandgevaarlijk dak in de buurt moet staan (art 2.59 en 2.64).



In het Bouwbesluit zijn eisen opgenomen voor de locatie van een uitmondingsopening van een kachel ten opzichte van ventilatiepunten van hetzelfde gebouw, maar er zijn (behalve een minimale afstand tussen uitmondingsopening en perceelgrens) geen eisen opgenomen voor de locatie ten opzichte van omliggende gebouwen. Hierdoor is het lastig om te voorkomen dat er klachten kunnen optreden door blootstelling van bewoners van andere gebouwen aan houtstook.

Aanvullend aan de eisen in het Bouwbesluit kan een lokale gemeentelijke Bouwverordening eisen stellen over bijvoorbeeld het verbieden van de aanleg van een rookgasafvoer voor lokale verwarmingstoestellen in nieuwbouwwoningen.

Verder stelt ook het Burgerlijk Wetboek dat geen hinder mag worden veroorzaakt door houtstook:

BW boek 5, artikel 37

De eigenaar van een erf mag niet in een mate of op een wijze die volgens artikel 162 van Boek 6 onrechtmatig is, aan eigenaars van andere erven hinder toebrengen zoals door het verspreiden van rumoer, trillingen, stank, rook of gassen, door het onthouden van licht of lucht of door het ontnemen van steun.

Ook de lokale gemeentelijke APV bevat meestal een verbod op open vuren in de buitenlucht (in artikel 5.5.1.), echter worden vuurkorven, fakkels en barbecues hier vaak van uitgezonderd. In de 2017- model-APV van de VNG wordt dit ook toegestaan in afdeling 8 – artikel 5:34:

Afdeling 8. Verbod vuur te stoken

Artikel 5:34 Verbod afvalstoffen te verbranden buiten inrichtingen of anderszins vuur te stoken

1. Het is verboden in de openlucht afvalstoffen te verbranden buiten inrichtingen in de zin van de Wet milieubeheer of anderszins vuur aan te leggen, te stoken of te hebben.
2. Mits er geen sprake is van gevaar, overlast of hinder voor de omgeving, is het verbod niet van toepassing op:
 - a. verlichting door middel van kaarsen, fakkels en dergelijke;
 - b. sfeervuren zoals terrashaarden en vuurkorven, indien geen afvalstoffen worden verbrand;
 - c. vuur voor koken, bakken en braden.
3. Het college kan van dit verbod ontheffing verlenen.
4. Onverminderd het bepaalde in artikel 1:8 kan de ontheffing worden geweigerd ter bescherming van de flora en fauna.
5. Het verbod is niet van toepassing op situaties waarin wordt voorzien door artikel 429, aanhef en onder 1 of 3, van het Wetboek van Strafrecht of de Provinciale milieuverordening.
6. Op de ontheffing bedoeld in het derde lid is paragraaf 4.1.3.3 van de Algemene wet bestuursrecht (positieve fictieve beschikking bij niet tijdig beslissen) niet van toepassing.

De Woningwet stelt dat ook tijdens de gebruiksfase hinder moet worden voorkomen doordat de eigenaar zich houdt aan de actuele eisen waarmee hinder moet worden voorkomen en veiligheid wordt geborgd. Bij overlast kan een bewoner bij de gemeente een beroep op het



burenrecht. Burgerlijk Wetboek artikel 5.37 verbiedt het toebrengen van hinder door o.a. het verspreiden van stank of rook. Daarnaast ligt er ook bij woningverhuurders een verantwoordelijkheid. Zij moeten optreden tegen overlast veroorzaakt vanuit een woning die zij verhuren.

Op grond van de milieuregels is het verboden afval – dus iets anders dan schoon hout – te verbranden. Helaas wordt de houtkachel in de volksmond nog steeds wel eens ‘allesbrander’ genoemd, een cultuuromslag in het denken rondom doel en functionaliteit van houtkachels is op dit vlak gewenst.

In Nederland worden vooralsnog geen eisen gesteld aan de kwaliteit van de vakbekwaamheid van de installateur. Volgens de NHK worden hierdoor onnodig veel fouten gemaakt bij de installatie welke voorkomen hadden kunnen worden [65].

4.2.3 Handhaving bij overlast door gemeenten

Alhoewel gemeenten een wettelijke taak tot handhaving hebben bij overlast, blijkt het voor veel gemeenten lastig om handhavend op te treden tegen hinder als gevolg van het stoken van houtkachels/open haarden. Uit jurisprudentie blijkt bijvoorbeeld dat bevoegdheden beperkt zijn en er vaak geen causaal verband kan worden gelegd tussen de vermeende bron en de klacht. In andere Europese landen, zoals Duitsland, kan sterker worden opgetreden. Hier heeft de schoorsteenveger bevoegdheid om op te treden bij particuliere stokers in geval van klachten van omwonenden. Een van de aanbevelingen van het Platform Houtrook en Gezondheid is dan ook dat er een goede meetmethode moet komen om overlast te kwantificeren.

De toolkit ‘Houtstook door particulieren, hoe voorkom je overlast?’ [2] bevat afzonderlijke handreikingen voor de stoker, de klagers en gemeenten. Voor de gemeenten zijn dit de volgende stappen:

1. Registreer de klacht in het klachtenregistratiesysteem van de gemeente.
2. Analyseer de gegevens van de klager(s) en vraag zo nodig om aanvulling.
3. Quick-scan (breng een bezoek aan klager en stoker om de situatie te beoordelen)
4. Voer nader onderzoek (concentratie metingen of verspreidingsberekeningen van geur, stof, CO, BaP e.d.) uit indien de klachten terecht lijken.
5. Stel vast of uit dit nader onderzoek blijkt of er sprake is van onaanvaardbare overlast
6. Handhaven (technische aanpassing of stookverbod).

4.3 Eisen en richtlijnen m.b.t. plaatsing en gebruik van ketels

4.3.1 Veiligheidseisen

Analoog aan de houtgestookte kachels zijn er voor biomassagestookte ketels in heel Europa verplichte veiligheidseisen van toepassing. Deze zijn vastgelegd in de EN303-5 (NEN303-5, 2012).



4.3.2 Activiteitenbesluit

Het Activiteitenbesluit is van toepassing voor biomassagestookte ketels welke onderdeel uitmaken van een inrichting. Hiermee wordt beoogd dat houtkachels en biomassaketels op de juiste wijze worden geplaatst en overlast wordt voorkomen. Het Activiteitenbesluit stelt eisen aan de uitstoot voor stof, Nox en SO₂, waarbij onderscheid bestaat tussen ketels groter dan 1 MW en ketels kleiner dan 1 MW. Verder bevat het Activiteitenbesluit enkele specifieke eisen en richtlijnen voor plaatsing en gebruik, waaronder de verplichting tot een keuring binnen 6 weken na inbedrijfsstelling, gevolgd door periodieke keuringen. Hiermee wordt aangetoond dat de opgelegde emissie-eisen ook in de praktijk worden gehaald en dat de installatie veilig kan worden bedreven.

Tabel 4.3 Emissie-eisen voor biomassagestookte ketels tot 5 MW (mg/m³ rookgas bij 6% O₂)

	stof	NO _x	SO ₂
20 kW..1 MW	40	300	200
1 .. 5 MW	20	275	200

Wanneer er echter geen sprake is van een inrichting (bijvoorbeeld bij particulier gestookte ketels), gelden er behalve EN303-5 geen wettelijke eisen aan de uitstoot. Wel gelden er producteisen indien gebruik wordt gemaakt van een ISDE subsidie, het toestel moet dan voorkomen op een lijst van apparaten. Om op deze lijst te komen, moet de betreffende ketel aantoonbaar voldoen aan de volgende eisen:

- Deze moet voldoen aan EN303-5
- Het nominaal vermogen is tussen 5 en 500 kW
- De maximale uitstoot bedraagt (genormeerd naar 6% O₂):
 - o Stof: 38 mg/m³
 - o CO: 750 mg/m³
 - o NO_x: 300 mg/m³

Verder moet de betreffende ketel (om in aanmerking te komen voor ISDE subsidie) worden geplaatst door een erkende installateur.

Er gelden geen wettelijke eisen voor wat betreft de afstand van houtgestookte ketels tot de dichtbijgelegen woningen in de gebouwde omgeving. De VNG handreiking Bedrijven en Milieuzonering [101] stelt dat biomassagestookte ketels normaliter op een afstand van minimaal 100m van woonbebouwing moeten zijn gelegen.

4.4 Ontwikkelruimte voor stikstofuitstoot

Bij de verbranding van biomassa komt meer Nox vrij dan bij de verbranding van aardgas. De verbranding van hout leidt dan ook vrijwel altijd tot een toename in de uitstoot van Nox. Omdat een van de belangrijkste nadelige effecten van Nox de verzuring van natuurgebieden betreft, is een toename van biomassaverbranding relevant in het kader van de Wet Natuurbescherming en de Programmatische Aanpak Stikstof (PAS). Inrichtingen moeten daarom – naast de melding voor het Activiteitenbesluit – ook toetsen welke effecten een geplande biomassaïnstallatie heeft op Natura 2000 gebieden. Dit wordt voor een concreet initiatief met de AERIUS tool getoetst aan de beschikbare ontwikkelruimte.



Uit dit onderzoek kan blijken dat de uitstoot uit een installatie leidt tot een te hoge belasting van een nabijgelegen Natura2000. Er kan dan worden gekozen voor een maatwerkvergunning waarbij strengere eisen worden opgelegd dan genoemd in het Activiteitenbesluit, of dat een initiatief helemaal geen doorgang kan vinden.

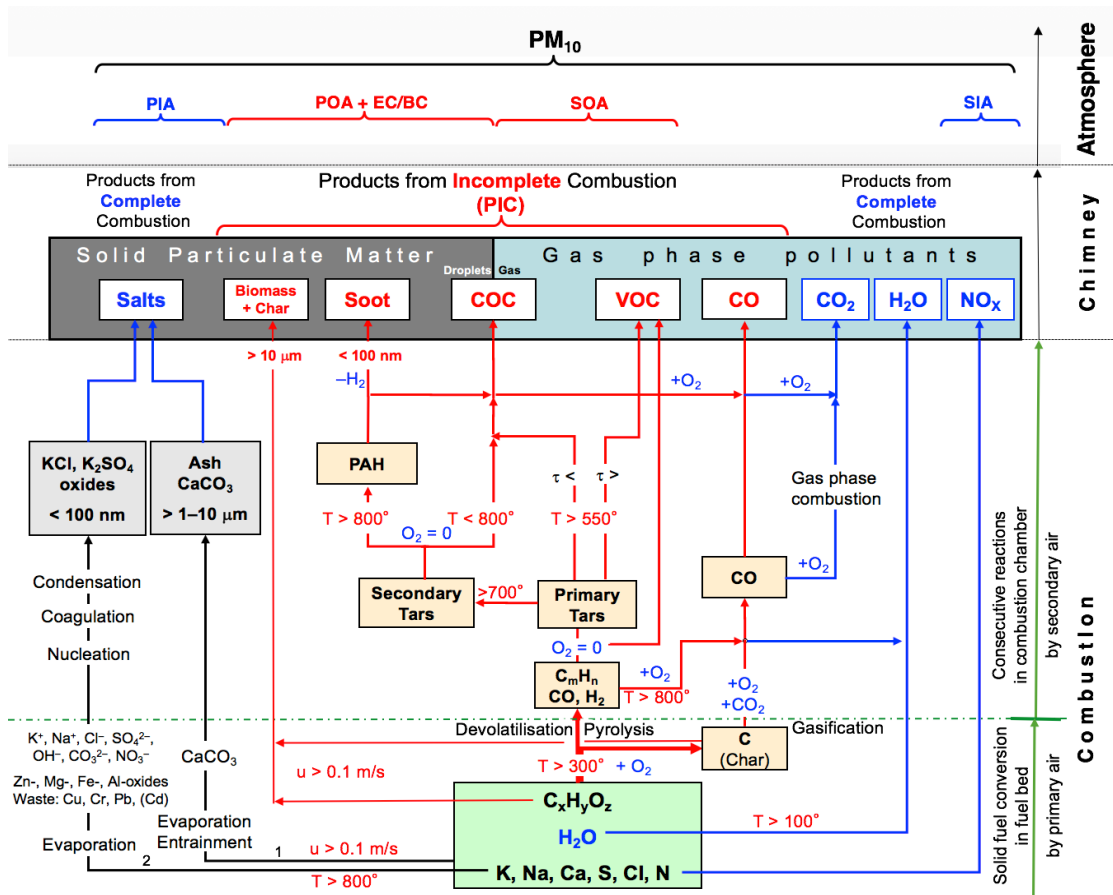


5 Toelichting over uitstoot en omgevingsconcentraties

De uitstoot van biomassagestookte kachels en ketels omvat meerdere componenten. De meest relevante voor de volksgezondheid (zie hoofdstuk 6) zijn fijnstof, CO, SO₂ en gasvormige onverbrande koolwaterstoffen. Dit hoofdstuk gaat in op de vormingsmechanismen van deze rookgascomponenten, de mogelijkheden tot reductie en de impact op lokale omgevingsconcentraties.

5.1 Emissiecomponenten uit biomassaverbranding

De verschillende componenten uit biomassaverbranding kunnen op hoofdlijnen worden onderverdeeld in (1) organische componenten welke ontstaan doordat er tijdens het verbrandingsproces sprake is van **onvolledige verbranding**, en (2) anorganische componenten welke worden gevormd uit overige componenten die in de brandstof aanwezig zijn welke al dan niet na oxidatie in het rookgas worden opgenomen [67]. Onderstaand schema laat zien hoe vanuit de brandstof (in het groen vlakje onderaan weergegeven) het verbrandingsproces verloopt volgens de pijlen en verschillende stoffen worden gevormd tot de componenten in de schoorsteen (primaire emissiecomponenten). Bovenin het schema worden de componenten weergegeven die uiteindelijk in de buitenlucht aanwezig zijn (primaire en secundaire emissiecomponenten).



Figuur 5.1 Vormingsmechanismen van emissiecomponenten in de atmosfeer door verbranding van biomassa [67]. In rood de producten als gevolg van onvolledige verbranding, in blauw de producten van volledige verbranding

5.1.1 Producten uit onvolledige verbranding

Ten gevolge van een onvolledige verbranding kunnen organische stoffen voorkomen in de rookgassen welke bij de heersende rookgastemperaturen vast, dampvormig of gasvormig zijn, en direct of later voor aerosolvorming kunnen zorgen. Deze producten uit onvolledige verbranding (*products from incomplete combustion, PIC*) zijn weer onder te verdelen in de volgende componenten:

- Primaire vaste deeltjes in de schoorsteen zoals roet, elementair koolstof (EC), black carbon (BC) en primaire organische aerosolen (POA).
- (Primaire) condenseerbare organische stoffen (*Condensable Organic Compounds, COC* of teren) welke na afkoeling van de rookgassen in de vorm van druppels of gecondenseerd op vaste deeltjes in het rookgas verschijnen, daarmee bijdragend



aan brown carbon (C_{brown}) en Primaire Organische Aerosols (POA) in de buitenlucht.

- Vluchtige Organische Componenten (*Volatile Organic Compounds, VOC*) in het rookgas welke fungeren als precursors voor de vorming van secundaire organische aerosolen (SOA) in de atmosfeer.

De uitstoot van deze rookgascomponenten kan effectief worden beperkt door optimalisering van het verbrandingsproces. Vervolgens zijn vaste of condenseerbare stoffen grotendeels af te vangen via nageschakelde rookgasreiniging zoals elektrostatische filters, doekfilters of katalysatoren, zie ook hoofdstuk 5.3.4. Omdat

De volgende PIC's in het rookgas van een kachel of ketel zijn het meest relevant:

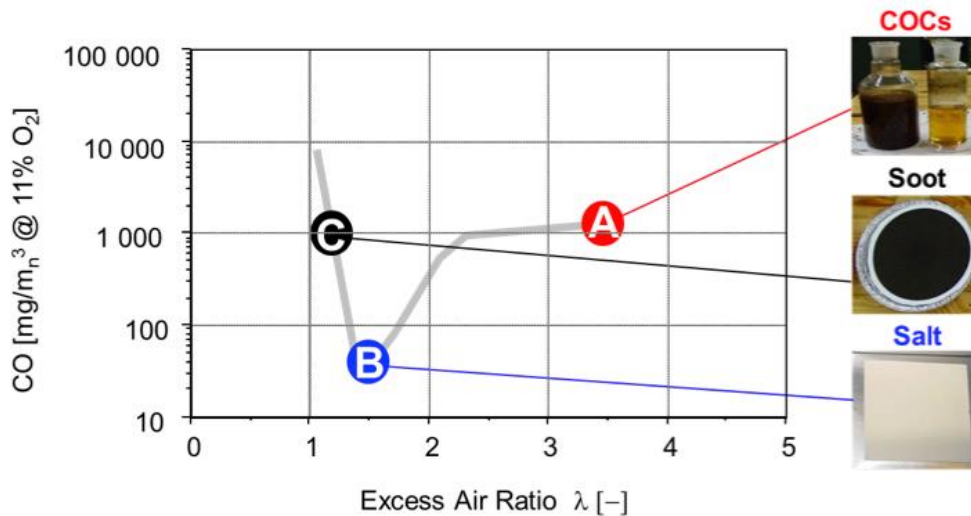
1. Totaal stof

Zoals Figuur 5.1 laat zien is fijnstof een verzameling van verschillende componenten zoals zouten, kool, roet en teren. Het wordt vaak verder onderverdeeld naar de deeltjesgrootte in μm ($\text{PM}_{0.1}$, PM_1 , $\text{PM}_{2.5}$ en PM_{10}). Daarbij zijn met name de kleinere deeltjes van belang voor de volksgezondheid omdat deze rechtstreeks in het bloed kunnen worden opgenomen via de alveoli (zie ook hoofdstuk 6). Fijnstof in de buitenlucht wordt ook wel aangeduid als aerosolen.

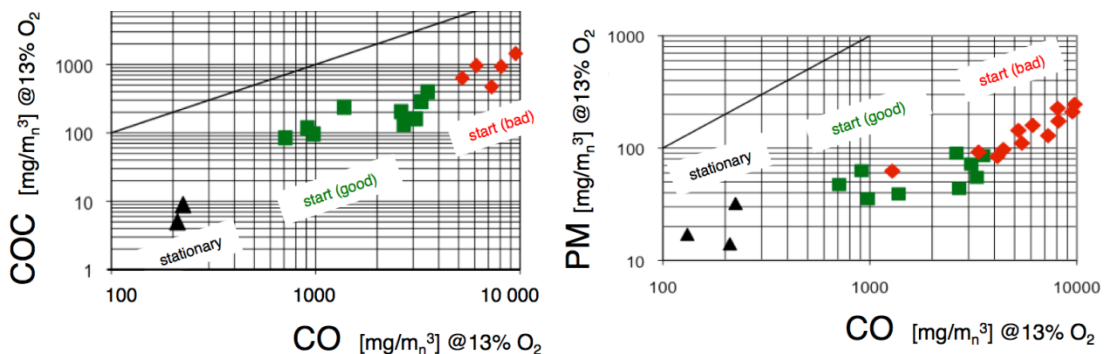
2. Koolmonoxide (CO)

CO wordt uitgestoten als gasvormig product van onvolledige verbranding. Omdat het de opname van zuurstof in het lichaam beperkt is het schadelijk in te hoge concentraties. Er is een sterke correlatie tussen de uitstoot van CO en andere PIC's, zie hieronder.

Bij een verbeterde verbrandingskwaliteit kan de hoeveelheid PIC's substantieel worden verlaagd. Dit betreft naast de organische component in fijnstof ook de dampvormige en gasvormige organische componenten. Daarmee verandert met het verbeteren van de verbrandingskwaliteit niet alleen de hoeveelheid, maar ook de samenstelling van fijnstof uit biomassaverbranding. Bij een slechte verbranding bestaat fijnstof vooral uit condenseerbare koolwaterstoffen (teer) en roet, terwijl fijnstof bij een goede verbrandingsinstallatie bijna volledig uit zouten bestaat. Een goede indicator voor de verbrandingskwaliteit en de aanwezigheid van PIC's is de concentratie aan koolmonoxide in het rookgas. Zie ook Figuur 5.2 en Figuur 5.3.



Figuur 5.2 De CO-uitstoot en de belangrijkste component in het geproduceerde fijnstof als functie van de hoeveelheid verbrandingslucht in een stukhoutgestookte ketel [67]. Bij optimale luchttoevoer (B) is de CO uitstoot het laagst en bevat het fijnstof vooral zouten. Bij te weinig luchttoevoer (C) ontstaat roet, bij te veel lucht (A) is de verbrandingstemperatuur te laag waardoor koolwaterstoffen te weinig tijd hebben om te verbranden, er ontstaan dan teren.



Figuur 5.3 De vorming van condenseerbare koolwaterstoffen (COC) en totaal stof (PM) als functie van CO in een stukhoutgestookte ketel in verschillende fasen van het verbrandingsproces van een stukhoutgestookte ketel [67].

3. OGC of VOC

Organische Gasvormige Koolwaterstoffen of Vluchtige Organische Componenten zijn een verzamelnaam voor organische stoffen welke onder rookgascondities nog gasvormig zijn, zoals benzeen, fenolen en aldehyden. Deze organische stoffen zijn schadelijk voor de volksgezondheid in directe vorm of na de omzetting tot secundaire organische aerosolen.



Als onderdeel van OGC vormen PAK's de organische koolwaterstoffen welke zijn gebaseerd op een benzeenring. De langere varianten hebben een hoog kookpunt en condenseren op stof deeltjes in de rookgassen, de kortere blijven gasvormig. Een van de meeste genoemde PAK's is Benzo(A)Pyrene (BaP). PAK's worden als kankerverwekkend beschouwd.

4. Dioxines

Bij een te lange verblijftijd tussen ca 180 en 500°C kunnen in aanwezigheid van koolstof, chloor en koper of ijzer als katalysator eventueel dioxines worden gevormd als resultaat van de *de novo* synthesesreacties [58]. Bij verbranding van schoon hout is in principe geen koper of ijzer afwezig en is het risico op dioxinevorming beperkt, echter nadat eenmaal koperhoudend afval in een houtkachel is verbrand kunnen in een toestel waarbij sprake is van onvolledige verbranding vervolgens nog lange tijd dioxines worden gevormd omdat koper op de kachelwand kan zijn neergeslagen. Vanwege dit 'geheugeneffect' is het van groot belang dat in een houtkachel enkel en alleen schoon hout wordt verbrand [71].

Volgens de Emissieregistratie wordt ongeveer 30% van de landelijke dioxineuitstoot veroorzaakt door kleinschalige houtstook [21]. De uitstoot van dioxines neemt over het algemeen af bij grotere installaties waarvan het verbrandingsproces beter geautomatiseerd en geregeld is. Op basis van metingen welke zijn uitgevoerd in Denemarken bij veel verschillende biomassaverbrandingsinstallaties stelt de Deense EPA dat voor de uitstoot van dioxines onderscheid kan worden gemaakt in de volgende typen houtgestookte installaties [22]:

1. Automatische ketelinstallaties met een goede continue verbranding en efficiënte stofreiniging: 20 tot 100 ng I-TEQ / ton hout (0,001..0,003 ng/MJ).
2. Kleinere semi-automatische kachels en ketels met continu geregelde verbranding, echter zonder stofreiniging: 200 – 500 ng I-TEQ / ton hout (0,006..0,036 ng/MJ).
3. Houtkachels met discontinue verbranding, manuele besturing en geen deeltjesreiniging: 600 – 5.100 ng I-TEQ / ton hout (0,02-0,38 ng/MJ)

5.1.2 Producten ten gevolge van anorganische brandstofcomponenten:

Asvormende componenten (K, Na, Ca, Zn, Cl, S, Mn, Mg, P etc.) kunnen leiden tot de vorming van zouten als KCl, K₂SO₄, CaCO₃, CaO. Deze kunnen bij de heersende temperaturen in de vuurhaard in vaste vorm met de rookgasstroom worden meegevoerd of vluchtig worden en verdampen en na nucleatie en condensatie alsnog als vaste stof verschijnen. Verhoogde concentraties aan zware metalen in de brandstof kunnen leiden tot uitstoot van Cu, Pb, Zn, Cr, Cd en Hg met het fijnstof. Door verlaging van de branderkamertemperatuur of het secundair afvangen van fijnstof kan de uitstoot worden tegengegaan.

Tenslotte kan ook stikstof welke van nature aanwezig is in de brandstof leiden tot de vorming van NO en NO₂ (samengevat als NO_x), welke na uitstoot uit de schoorsteen in de



atmosfeer kan leiden tot de vorming van extra secundaire anorganische aerosolen (SIA in Figuur 5.1) via ammonium (NH_4^+) en nitraten (NO_3^-). Door het optimaliseren van de luchttoevoer bij het verbrandingsproces en het toepassen van een DENOX installatie (SNCR en evt SCR) kan de uitstoot van NO_x worden tegengegaan.

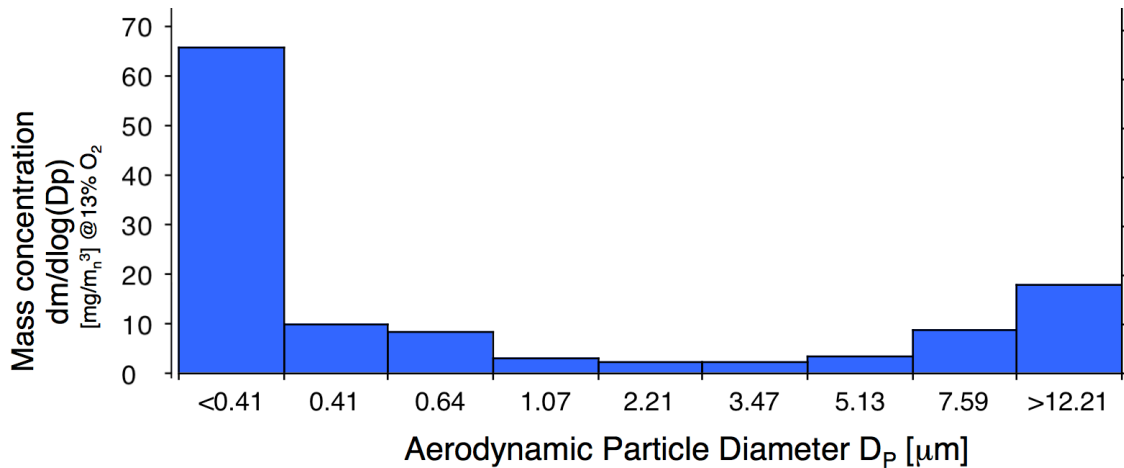
5.1.3 Secundaire organische aerosolen

Zoals Figuur 5.1 laat zien, kunnen er aanvullend op de directe uitstoot van aerosolen uit een schoorsteen uit de omzetting van gas- en dampvormige koolwaterstoffen en CO ook secundaire organische aerosolen (SOA) worden gevormd in de atmosfeer. De vorming van deze secundaire aerosolen bij biomassaverbranding en andere bronnen valt buiten de statistieken welke gaan over primaire bronnen zoals de Emissieregistratie, omdat deze alleen de stofdeeltjes omvat welke bij de schoorsteen in vaste toestand zijn. Mede hierdoor is de herkomst van omgevingsconcentraties niet goed herleidbaar naar verschillende bronnen. Zo wordt volgens Hendriks et al [42] de gemiddelde omgevingsconcentratie aan $\text{PM}_{2,5}$ in Nederland voor 37% veroorzaakt door niet nader toe te wijzen bronnen. Wel kan worden gesteld dat de vorming van secundaire organische aerosolen toeneemt bij toenemende uitstoot van koolwaterstoffen. Kachels en ketels met een hogere uitstoot aan koolwaterstoffen leiden indirect dus ook tot hogere omgevingsconcentraties aan fijnstof.

Tenslotte is het niet altijd goed mogelijk om een gemeten omgevingsconcentratie aan fijnstof te correleren aan een specifieke bron, omdat er bijvoorbeeld meerdere bronnen tegelijk kunnen zijn of atmosferische omstandigheden (wind, temperatuur) of de specifieke windrichting rondom gebouwen maken dat de verspreiding vanuit een uitmondingsopening een versterkend of verzwakkend effect heeft. [34].

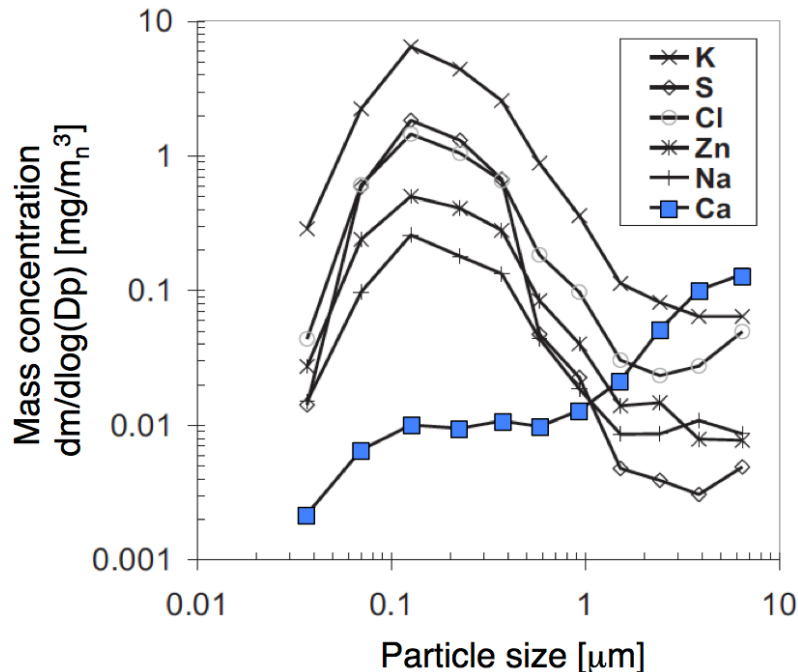
5.2 Deeltjesgrootteverdeling van fijnstof

Wanneer de deeltjesgrootteverdeling van vrijkomend fijnstof uit biomassaverbranding als massapercentage wordt uitgezet, valt op dat er typisch sprake is van een bimodale verdeling (Figuur 5.4). Nader onderzoek leert dat bij een goede verbranding de grovere deeltjes ($>1 \mu\text{m}$) vooral bestaan uit Ca, wat na verbranding achterblijft als het skelet uit de cellulosecellen [5]. De bij onvolledige verbranding ontstane teren kunnen hier eventueel op condenseren. De deeltjes $< 1 \mu\text{m}$ bestaan bij een goede verbranding hoofdzakelijk uit zouten, bij onvolledige verbranding betreft dit ook roet en teren.



Figuur 5.4 Typische massaconcentratie als functie van de deeltjesgrootte bij een houtkachel, gemeten met een cascade impactor [41]

Bij een goede verbranding waarbij vrijwel alleen zouten aanwezig zijn, resulteert een massaverdeling zoals weergegeven in Figuur 5.5. De alkalizouten en vluchtige zware metalen zijn geconcentreerd in de kleinere deeltjes, terwijl calcium juist in het grovere stof aanwezig is.

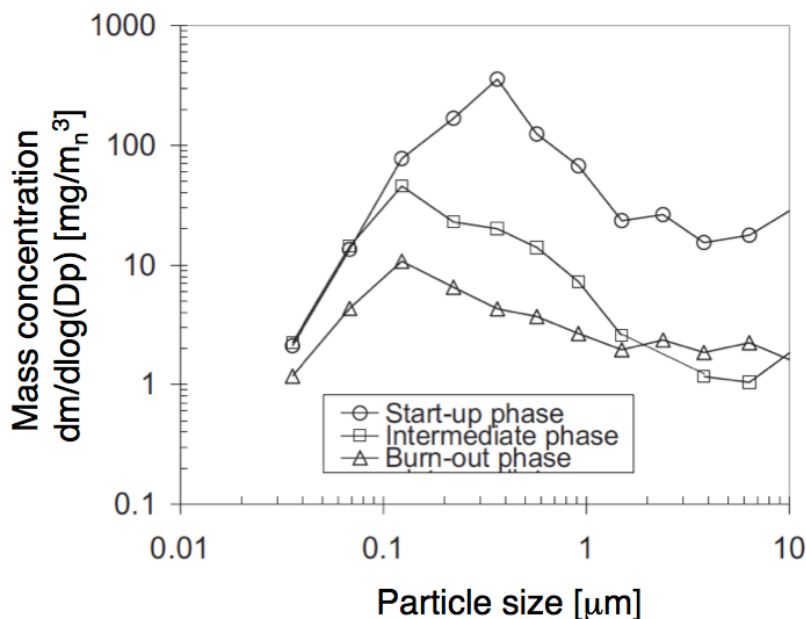


Figuur 5.5 Typische massa-deeltjesgrootteverdeling bij een pelletkachel [5]. De kleinere deeltjes betreffen vooral alkalizouten en zware metalen, de grovere deeltjes calcium

De deeltjesgrootteverdeling van het vrijkomende stof bij een houtkachel (Figuur 5.6) hangt af van de fase in het verbrandingsproces, zie ook 5.3.2. Tijdens de opstartfase is de

stofuitstoot aanzienlijk hoger dan de vlamfase en uitbrandfase later in het verbrandingsproces. De gemiddelde grootte van de deeltjes is tijdens de opstartfase door de condensatie en agglomeratie van teren hoger dan later in het proces. Later in het verbrandingsproces neemt ook het gehalte organische stof in het fijnstof af en lijkt de deeltjesgrootteverdeling en chemische samenstelling meer op dat bij een goed brandende pelletkachel (zoals in Figuur 5.5).

Figuur 5.6 laat tevens zien dat het van belang is de opstartfase bij een houtkachel zo snel mogelijk door te komen. Het gebruik van de Zwitserse methode wordt mede hierom aanbevolen (zie ook 5.3.2.1). Vergelijk ook met Figuur 5.3.



Figuur 5.6 Typische massa-deeltjesgrootteverdeling bij een houtkachel tijdens verschillende fasen van het verbrandingsproces [5]. In de opstartfase komen relatief veel teren vrij welke leiden tot een grotere deeltjesgrootte, in de uitbrandfase neemt de deeltjesgrootte af en bevat het vrijkomende fijnstof vooral zouten.

Typische deeltjesgrootteverdelingen van PM₁, PM_{2,5} en PM₁₀ als onderdeel van totaal stof is in Tabel 5.1 weergegeven voor verschillende toepassingen.

**Tabel 5.1 De massafractie PM1, PM2,5 en PM10 van verschillende typen toestellen [92]**

		PM1	PM2,5	PM10
Houtkachels	Schoon stukhout	92%	96%	99%
Pelletkachels	pelletkachels	93%	95%	99%
Biomassaketels particulier	Schoon stukhout	71%	79%	92%
	Houtsnippers	84%	87%	94%
	Houtpellets	80%	84%	97%
Roosterovens	houtsnipers	77%	88%	97%

5.3 Factoren die de verbrandingskwaliteit beïnvloeden

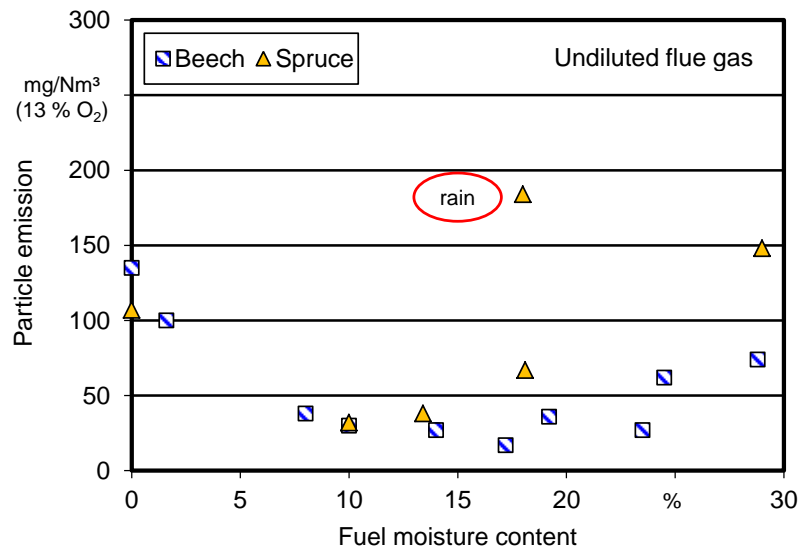
De verbrandingskwaliteit en uitstoot wordt beïnvloed door een groot aantal factoren. In deze paragraaf worden deze beschreven voor een stukhoutgestookte houtkachel, omdat juist hier veel parameters zijn die van invloed zijn op de verbrandingskwaliteit en waarmee in de praktijk veel fouten worden gemaakt. Overigens zijn deze zaken ook van belang bij automatisch gestookte (pellet)kachels en ketels, echter kan hier de uitstoot door automatisering en standaardisering sterk worden beperkt.

5.3.1 Brandstofkwaliteit

Een verbrandingsinstallatie is altijd ontworpen voor een bepaald type brandstof, waarbij de specificaties binnen bepaalde bandbreedte zijn vastgelegd. Zo worden er biomassaketels ontworpen voor zeer droge houtsnippers of juist voor zeer natte houtsnippers. Pelletkachels en pelletketels worden specifiek ontworpen op houtpellets met een nauw gespecificeerde technische kwaliteit (voor particuliere toepassingen is dit vrijwel altijd EN PLUS A1). Door een vergaande standaardisatie van de brandstof is het mogelijk een kachel of ketel optimaal te ontwerpen m.b.t. uitstoot, rendement, investeringskosten en operationele kosten. Ook bij het gebruik van stukhout in houtkachels geldt dat het hout dient te voldoen aan een aantal eigenschappen qua vochtgehalte en afmetingen. De term 'allesbranders' voor houtkachels druipt hier dan ook volledig tegenin.

5.3.1.1 Vochtgehalte

Het vochtgehalte van stukhout moet bij houtkachels tussen 10% en 20% bedragen op natte basis. Dit kan bijvoorbeeld worden gecontroleerd met een eenvoudige vochtmeter. Bij te nat hout komt de verbrandingsreactie minder goed op gang, daalt de verbrandingstemperatuur en resulteren veel onverbrande koolwaterstoffen indien het toestel er niet voor is ontworpen. Te droog hout is echter ook niet goed, de plotseling grote hoeveelheid vrijkomende gassen kunnen dan tot zuurstofgebrek en roetvorming leiden. Figuur 5.7 laat zien dat er een optimaal vochtgehalte is.



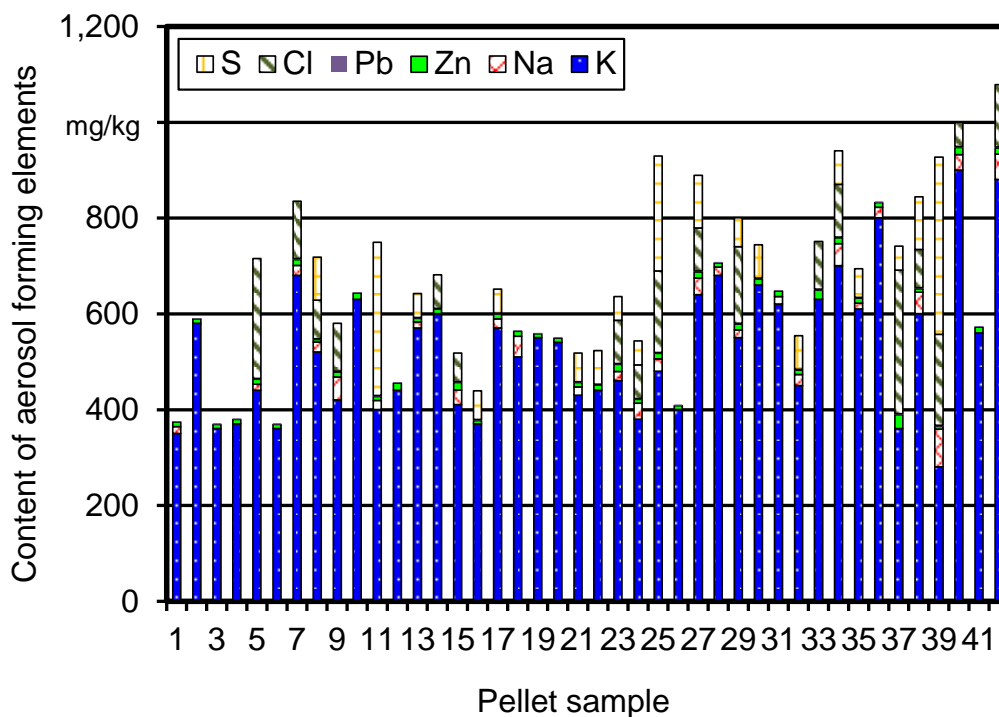
Figuur 5.7 Invloed van het vochtgehalte op de stofuitstoot van een houtkachel [87]



Figuur 5.8 Bepalen van het vochtgehalte met een eenvoudige vochtmeter.

5.3.1.2 Chemische samenstelling

Zoals in 5.1.2 toegelicht wordt fijnstof niet alleen gevormd door onvolledige verbranding van biomassa, maar ook de vluchtige anorganische componenten welke in relatief kleine hoeveelheden in hout voorkomen en als element of in een verbinding kunnen neerslaan (lood, zink, natrium, kalium, chloor en zwavel). Vooral bij een relatief goede verbranding (zoals in een pelletkachel of pelletketel of in een goed gestookte ketel op houtsnippers) is de aanwezigheid van deze componenten bepalend voor de stofuitstoot. In een onderzoek van Hartmann [40] zijn verschillen van een factor 3 waargenomen in totale concentraties aerosolvormende stoffen in houtpellets, met verschillen van een factor 5 in stofuitstoot. Deze pellets waren afkomstig van 42 verschillende leveranciers uit Europa welke allen voldeden aan de ENPLUS A1 standaard. Het kan daarmee zijn dat dezelfde pelletkachel welke wordt gestookt met verschillende typen pellets een factor 5 hoger of lagere uitstoot van fijnstof laat zien.



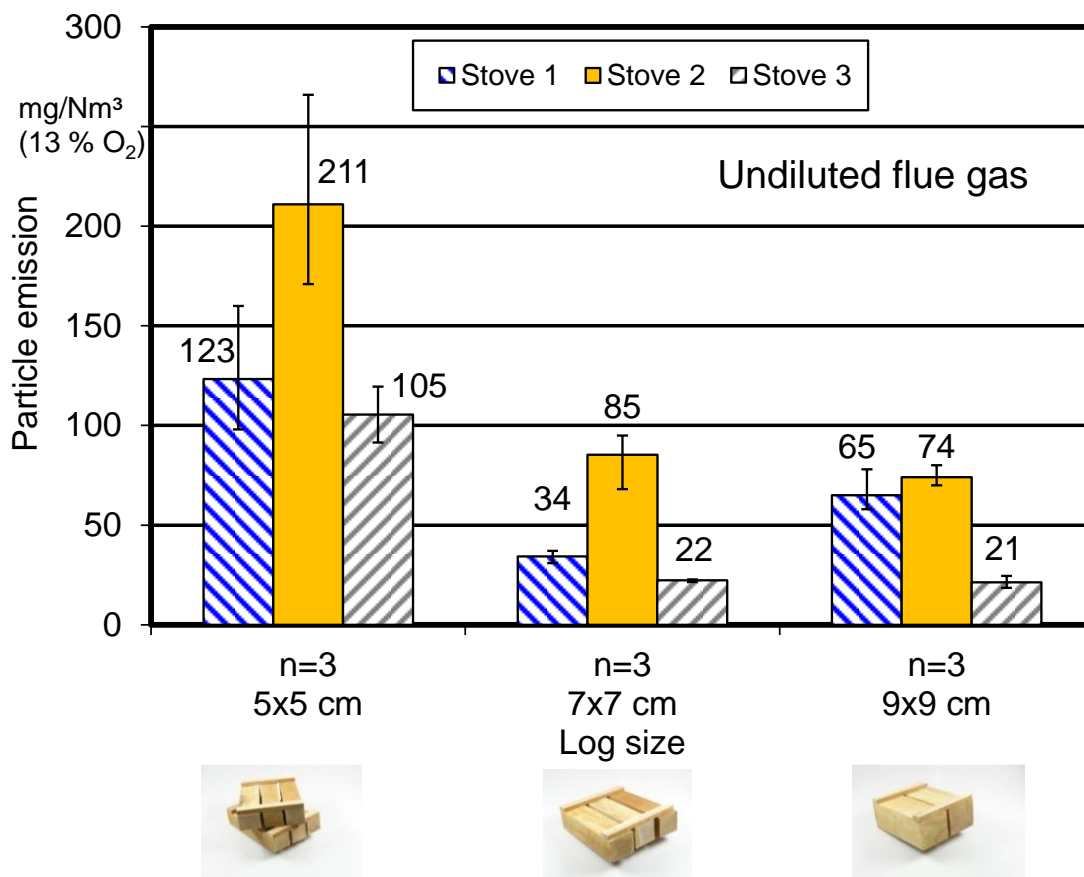
Figuur 5.9 Concentraties aerosolvormende elementen in ENPLUS A1 pellets van 41 verschillende leveranciers [40].

Ook bij houtsnippers en houtblokken kan de hoeveelheid aerosolvormende anorganische componenten variëren. Zo kan de stofuitstoot bij verbranding van biomassa met veel bast (takhout) hoger uitvallen dan bij verbranding van kernhout zonder bast. Dit geldt ook bij de verbranding van niet-houtige gewassen zoals stro, pitten etc. waarbij (in verhouding tot schoon hout) relatief hoge concentraties aan Na, K, S en Cl voorkomen [85]. Ook het verbranden van brandstof anders dan schoon hout (bijv. papier, briketten, houtsnippers)

leidt tot sterk verhoogde emissiefactoren voor fijnstof met een hoger gehalte organische stof [26].

5.3.1.3 Afmetingen

Kleine stukken hout hebben een relatief hoge oppervlakte/volume verhouding en branden dus sneller dan grotere stukken. Te lange stukken hout moeten worden ingekort, zodat er altijd een aantal cm afstand tot de wand bestaat. Bij een gemiddelde kachel moet de dikte van een blok hout moet tussen 6 en 12 cm bedragen (omtrek ca 20-30 cm). In de handleiding van een kachel wordt dit aangegeven door de fabrikant. Figuur 5.10 laat een duidelijke relatie zien tussen de afmetingen van de gebruikte houtblokken met de stofuitstoot, waarbij er kleine verschillen zijn tussen kachels onderling. Daarbij is kachel 1 geoptimaliseerd voor hout met afmetingen van 7x7 cm, terwijl kachel 2 juist iets lagere stofuitstoot laat zien bij iets grotere stukken hout. In de handleiding van een kachel geeft de fabrikant aan wat de optimale afmetingen zijn van de gestookte houtblokken. Overigens is het voor het aansteken van belang dat het verbrandingsproces snel op gang komt, hiervoor zijn dus juist kleinere stukken hout nodig.



Figuur 5.10 Invloed van de grootte van brandstof op de stofuitstoot van drie verschillende kachels [40]



Tenslotte wordt opgemerkt dat er weliswaar een Europese kwaliteitsnorm bestaat voor brandhout (EN ISO 17225-5), maar dat deze in de praktijk weinig of niet wordt gebruikt. Alhoewel er geen sluitende statistieken zijn over de hoeveelheden en herkomst van het door particulieren gestookte brandhout, is het wel duidelijk dat een belangrijk deel van het brandhout (volgens het WoON onderzoek uit 2012 tweederde [13]) uit de informele sector komt. Omdat deze hoeveelheid niet wordt verhandeld op basis van afgesproken specificaties, ligt de verantwoordelijkheid in de eerste plaats bij de eindgebruiker dat hout van adequate kwaliteit wordt ingezet.

5.3.2 Invloed van de gebruiker

Tijdens het stookproces heeft de gebruiker van een houtkachel een belangrijke invloed op de verbrandingskwaliteit. Het is van groot belang dat deze het toestel op de juiste wijze bedrijft. In deze paragraaf wordt de invloed van de gebruiker beschreven voor een stukhoutgestookte kachel.

Het is evident dat het gebruik van een volautomatische pelletkachel of biomassaketel welke met een goede procesregeling is uitgevoerd, als belangrijk voordeel heeft dat de invloed van de gebruiker wordt beperkt. De procesregeling gebeurt in dat geval op basis van continu gemeten proceswaarden van bijvoorbeeld rookgastemperatuur, vuurhaardtemperatuur en concentraties zuurstof en CO in de rookgassen. Dergelijke regelingen leiden aantoonbaar tot een lagere uitstoot en lagere emissiefactoren (zie ook Appendix 3).

5.3.2.1 Wijze van aansteken

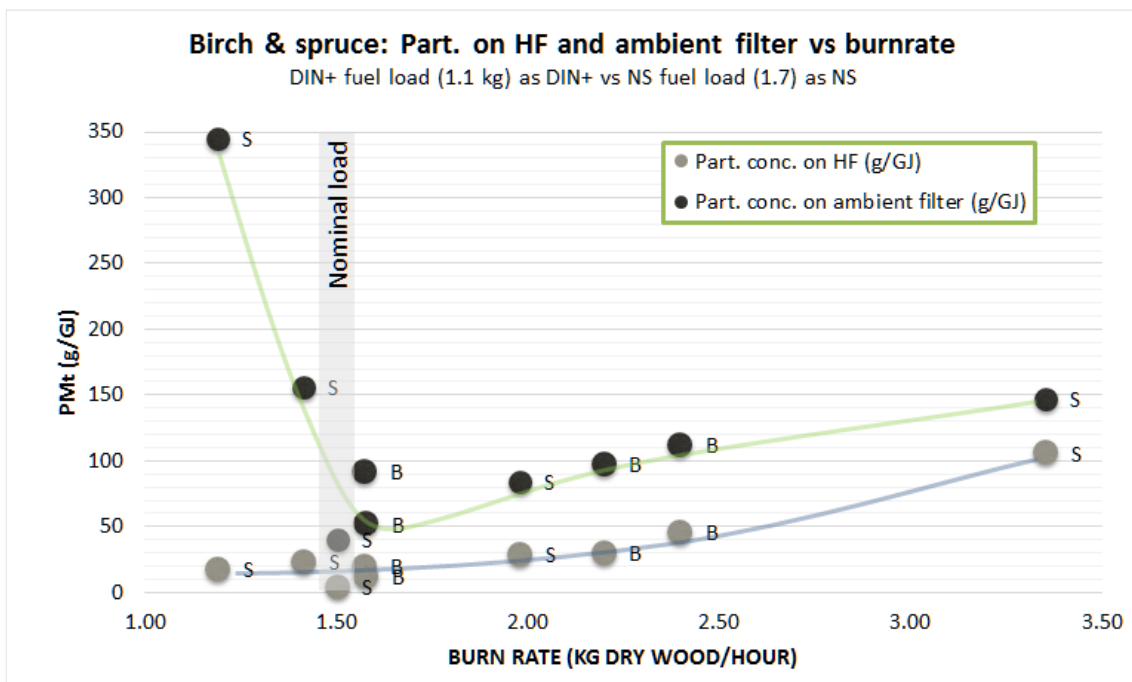
Tijdens de opstartfase is een kachel nog niet op de bedrijfstemperatuur. Hierdoor hebben de vrijkomende gassen onvoldoende tijd om bij voldoende hoge temperatuur te verbranden, waardoor kortstondig een relatief hoge uitstoot van koolwaterstoffen ontstaat. Om deze piek in de uitstoot zo kort mogelijk te houden, is het van belang dat het vuur snel opstart en een toestel snel op temperatuur is. Dit kan worden bereikt door kleine aanmaakhoutjes te gebruiken, de luchttoevoer volledig open te zetten en de Zwitserse methode toe te passen. Bij deze methode worden grotere blokken hout onderop gestapeld, gevolgd door steeds kleinere stukken hout naar boven. De stapel wordt van bovenaf aangestoken, zodat vrijkomende gassen alleen via de vlammen kunnen ontsnappen.

Onderzoeken waarbij de uitstoot van een typische houtkachel wordt vergeleken bij aansteken volgens traditionele methode (bottom up) en volgens de Zwitserse methode (top-down), laten vrijwel altijd zien dat de uitstoot van fijnstof over een verbrandingscyclus met ca 1/3 afneemt, de uitstoot van gasvormige koolwaterstoffen neemt met ca. 50% af [8,78]. Er wel zijn enkele voorbeelden van kachels waar aansteken volgens deze methode maar weinig effect heeft of juist leidt tot een enigszins hogere uitstoot [80].

5.3.2.2 Belasting van het toestel vs. Nominaal vermogen

Door de relatief beperkte warmtecapaciteit van een gemiddelde houtkachel is het van belang dat het verbrandingsproces in een kachel zo constant mogelijk wordt bedreven. Per kW vermogen moet er iedere 30 minuten ongeveer 0,15 kg hout worden bijgevuld. Voor een typische kachel van 6 kW is dat dus bijna iedere 30 minuten 1 kg [39]. Het optimale moment van bijvullen is wanneer de laatste gele vlammen zichtbaar zijn in het gloeibed. Door rustig enkele stukken hout op enige onderlinge afstand achterin de kachel op het gloeibed te leggen, kan het vuur weer rustig opstarten.

In Figuur 5.11 wordt de relatie getoond tussen de hoeveelheid toegevoerde brandstof en de stofuitstoot, gemeten op een heet filter (grijs) en met de verdunningstunnel (zwart). Te zien is dat de uitstoot minimaal is bij nominaal vermogen.



Figuur 5.11 Stofuitstoot van een kachel als functie van de belading [90].

5.3.2.3 Batch vs continu

Terwijl het verbrandingsproces bij een houtkachel als een batchproces kan worden aangeduid, verloopt het verbrandingsproces bij een volautomatische kachel of ketel welke wordt gestookt op houtpellets of houtsnippers meer volcontinu. Hierdoor treden er minder grote schommelingen op in verbrandingscondities, waardoor ook de uitstoot lager is. Belangrijk is daarbij ook dat de op- en afregeling in vermogen geleidelijk gebeurt.



Voor wat betreft de hoeveelheid brandstof die bij een houtkachel per lading wordt toegevoerd, geldt dat het beter is om regelmatig kleine stukken hout toe te voeren, dan minder vaak grotere stukken. In het eerste geval gedraagt het proces zich meer als een continu proces, in het laatste geval is er meer sprake van een batch proces waarbij de vuurhaard tijdelijk onnodig veel afkoelt en de uitstoot toeneemt.

5.3.2.4 Luchttoevoerinstellingen

De meeste houtkachels hebben een mogelijkheid voor het afzonderlijk regelen van de hoeveelheid primaire en secundaire lucht. Voor een optimale verbranding is het van belang dat op het juiste moment de juiste hoeveelheid verbrandingslucht wordt toegevoerd:

- Bij het aansteken moeten primaire en secundaire luchtschuif vol open worden gezet om het verbrandingsproces aan te jagen, zodat het toestel snel op temperatuur is
- Nadat een toestel op temperatuur is kan de primaire luchttoevoer door het rooster worden gesloten, zodat alleen secundaire lucht beschikbaar is.
- Wanneer het verbrandingsproces is beëindigd kunnen alle luchtschuiven worden gesloten om stilstandverliezen te voorkomen. Na afkoeling kan de as worden verwijderd.

Tabel 5.2 Vergelijking van praktijkmetingen over de volledige cyclus van een houtkachel onder optimale condities en praktijkcondities, in vergelijking met het resultaat van de typekeuring volgens EN 13240:2001 [78]. Metingen volgens VDI-Guideline 2066-1 bij 13% O₂

Batch	Duur	CO	OGC	Stof	η
Resultaten volgens EN 13240 typekeur (excl opstartfase)					
	55 min	793 mg/m ³	36 mg/m ³	25 mg/m ³	83.2 %
Praktijkmeting volgens handleiding fabrikant (incl opstartfase)					
1	32 min.	2546 mg/m ³	151 mg/m ³	150 mg/m ³	61.0 %
3	58 min.	3661 mg/m ³	239 mg/m ³	63 mg/m ³	42.0 %
5	45 min.	1993 mg/m ³	272 mg/m ³	79 mg/m ³	45.7 %
Praktijkmeting volgens typisch gebruikersgedrag (incl opstartfase)					
1	43 min.	7556 mg/m ³	1096 mg/m ³	318 mg/m ³	51.5 %
3	39 min.	9491 mg/m ³	1351 mg/m ³	141 mg/m ³	29.1 %
5	39 min.	8059 mg/m ³	1320 mg/m ³	125 mg/m ³	42.5 %

Tabel 5.2 laat zien dat het afwijkend gedrag van de gebruiker ten opzichte van de stookvoorschriften in de handleiding bij deze houtkachel leidt tot een sterk verhoogde uitstoot. In hetzelfde onderzoek werd geconcludeerd een suboptimale wijze van installatie (welke typisch leidt tot een te hoge trek) ook bij optimaal stookgedrag leidt tot een te laag rendement. Het is belangrijk op te merken dat de meetwaarden in Tabel 5.2 slechts gelden voor één type kachel, bij andere kachels kan het verschil tussen optimale stook tijdens typekeur en de uitstoot in de praktijk kleiner zijn. Zie ook 5.5.1 voor meer informatie over de invloed van de gebruiker.

Bij een volautomatische kachel of ketel gebeuren deze handelingen automatisch op basis van gemeten proceswaarden. Er zijn inmiddels enkele fabrikanten van houtkachels bezig met de automatisering van hun toestellen, waarbij door toepassing van computergestuurde luchtkleppen de verbranding aanzienlijk kan worden verbeterd, zie bijv. Figuur 5.12.

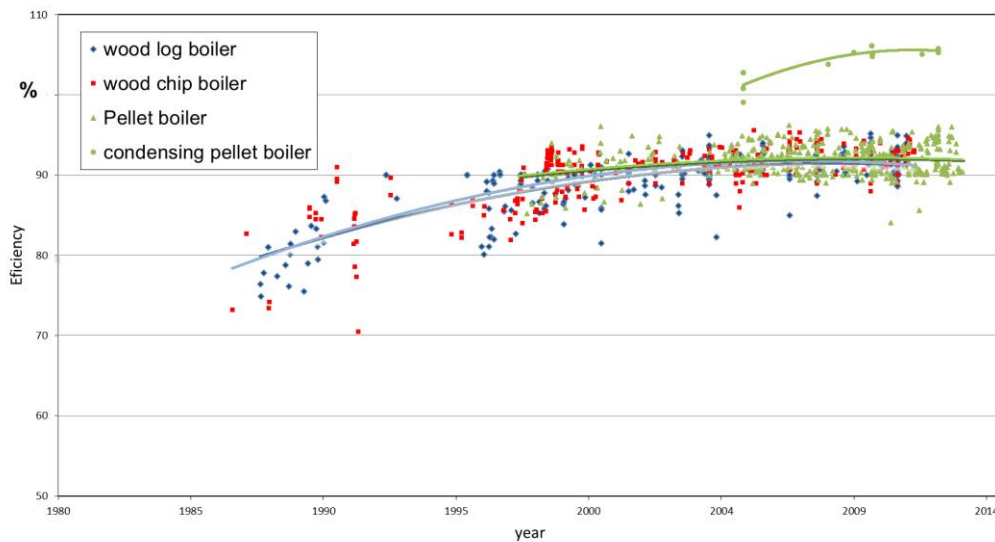


Figuur 5.12 Een kachel van fabrikant HWAM waarbij de invloed van de gebruiker is beperkt door computergestuurde luchttoevoer op basis van sensoren in het rookgas voor zuurstofconcentratie en temperatuur [43].

5.3.3 Toestelontwerp en systeemontwerp

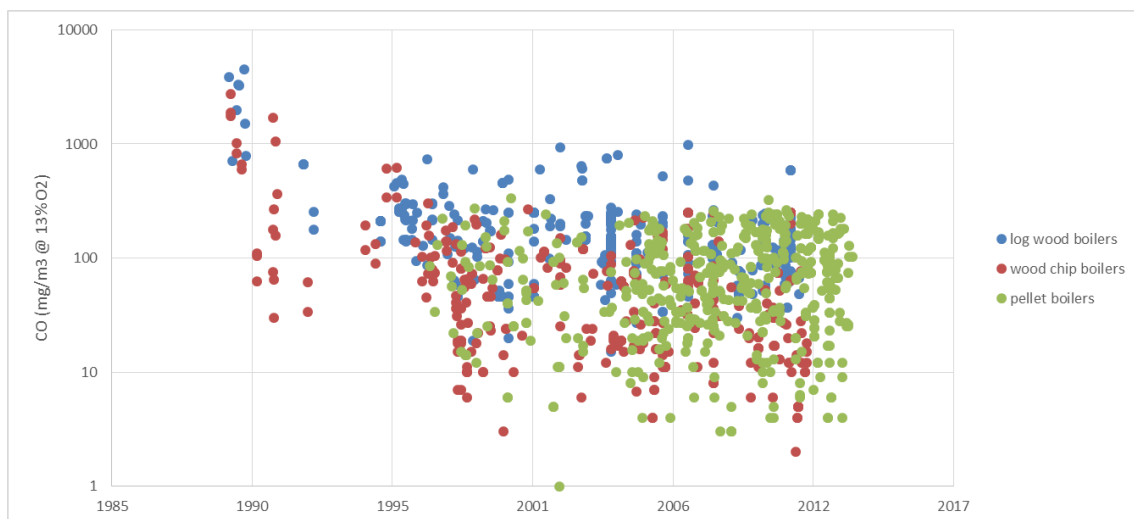
Door de jaren heen is het technisch inzicht in de optimalisering van het verbrandingsproces sterk toegenomen. Hierbij hebben simulatietools zoals CFD geleid tot sterk verbeterde ontwerpen. Fabrikanten van houtgestookte kachels en ketels hebben hierdoor een aanzienlijk lagere uitstoot weten te bereiken. Een overzicht van de ontwikkeling in rendement en uitstoot van kleinschalige biomassagestookte ketels welke in Duitsland

worden gekeurd volgens een verplichte typekeuring conform EN 303-5 is weergegeven in Figuur 5.13 t/m Figuur 5.15 [38]. Ieder datapunt beschrijft de prestatie van een ketel onder nominale condities.



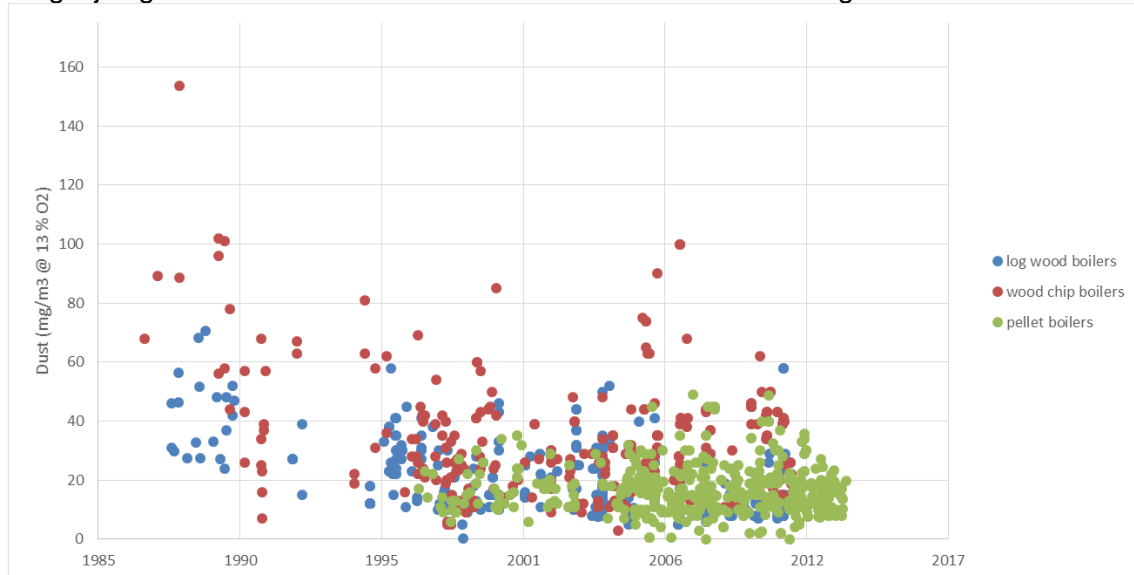
Figuur 5.13 De ontwikkeling in rendement van stookhout, houtsnipper en houtpellet gestookte ketels [38].

In bovenstaande figuur wordt het rendement onder nominale condities weergegeven voor ketels op basis van verschillende brandstoffen. Recent zijn er ook condenserende pelletketels beschikbaar met een rendement hoger dan 100%.



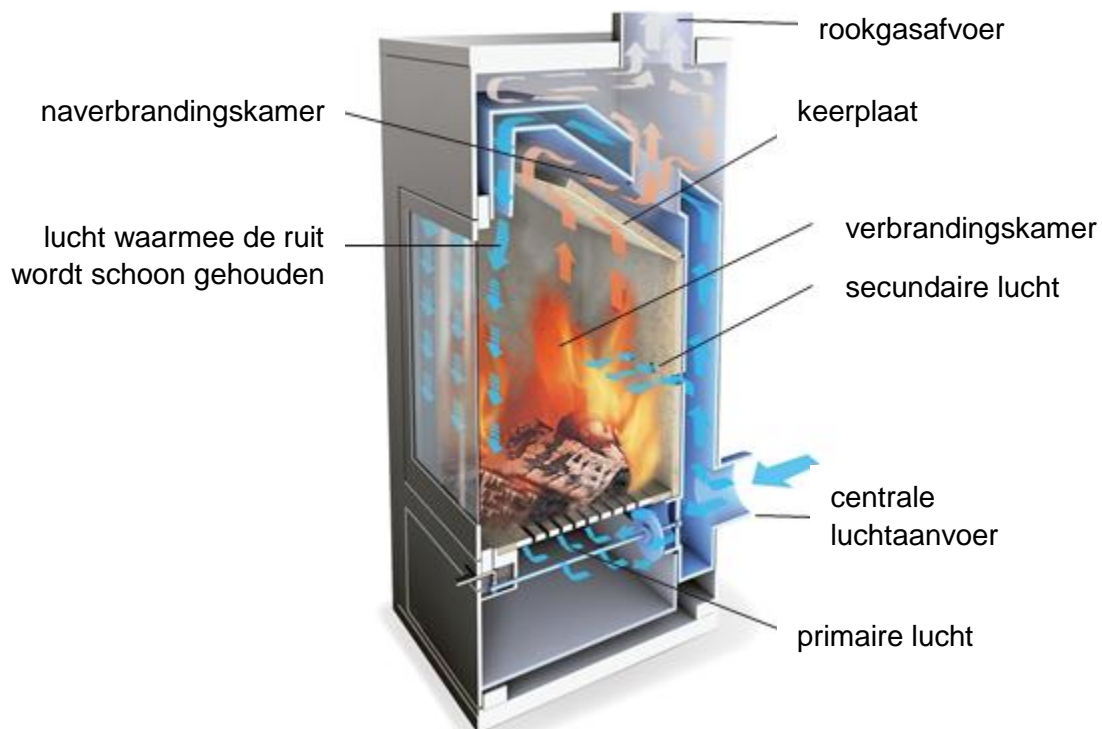
Figuur 5.14 De ontwikkeling in CO uitstoot van stookhout, houtsnipper en houtpellet gestookte ketels [38].

Opvallend in deze figuur is de bandbreedte in de CO uitstoot van een factor 100. Ter vergelijking: de eis voor klasse 5 ketels in de EN 303-5 is 500 mg/m³ CO.



Figuur 5.15 De ontwikkeling in stofuitstoot van stukhout, houtsnipper en houtpellet gestookte ketels [38].

De werking van een typische moderne houtkachel wordt kort toegelicht aan de hand van Figuur 5.16.



Figuur 5.16 Algemeen werkingsprincipe van een houtkachel. [119].

Bij een moderne houtkachel worden gedoseerde hoeveelheden verbrandingslucht in verschillende fasen van het verbrandingsproces toegevoerd. De primaire lucht bevat de zuurstof welke nodig is om de verse brandstof te ontgassen en het resterende houtskool welk overblijft na de ontgassing in het gloeibed te verbranden. De bij de verbranding van houtskool vrijkomende energie wordt gebruikt voor het drogen van de brandstof in de eerste fase. Secundaire lucht wordt in de verbrandingskamer toegevoerd voor de verbranding van vrijkomende pyrolysegassen. Tenslotte wordt lucht na voorverwarming toegevoerd aan de voorzijde van de kachel om de ruit vrij te houden van aanslag. Normaliter wordt nadat het toestel is opgewarmd, de primaire luchttoevoer gesloten en dient deze 'spoellucht' ook als primaire lucht voor de ontgassing.

Bij woningen met balansventilatie is het mogelijk om met de centrale luchttoevoer lucht van buitenaf of vanuit de kruipruimte van een woning aan te laten voeren. Dit wordt normaliter met handschuiven verdeeld over primaire lucht, secundaire lucht en een deel lucht om de ruit schoon te houden. Een aantal fabrikanten is bezig met de ontwikkeling van toestellen waarbij de lucht via elektronisch geregelde luchtkleppen wordt toegevoerd, zodat in de verschillende fasen van het verbrandingsproces een optimale luchttoevoer ontstaat.

In het algemeen moet voor een goed verbrandingsproces gelet worden op de drie T's: temperatuur, verblijftijd en turbulentie. Ten eerste is het belangrijk dat de vuurhaard een



hoge **temperatuur** bereikt waar de verbrandingsreactie voldoende **tijd** wordt gegeven. Hiervoor wordt de vuurhaard geïsoleerd met hittebestendige bekleding (chamotte). Om warmteverlies via de ruit te beperken is het beter dat deze niet te groot wordt gekozen, in sommige gevallen wordt er zelfs dubbel glas toegepast. Bovenin de kachel bevindt zich een aparte geïsoleerde naverbrandingskamer, waar de verbrandingsreacties worden afgerond. Deze is gescheiden van de vuurhaard door een keerplaat. Deze keerplaat bevordert de uitbrand door een betere menging van de rookgassen met resterende zuurstof (**turbulentie**).

Idealiter wordt pas na volledige afronding van het verbrandingsproces warmte onttrokken aan de hete rookgassen, in het geval van de kachel uit Figuur 5.16 is dit bovenin de kachel aan de boven- en buitenwand. Het oppervlak van de kachel kan daarmee een temperatuur tot 200°C bereiken. Door straling en convectie wordt de warmte vervolgens vanaf de hete wand aan de ruimte overgedragen.

5.3.4 Dimensionering, systeemontwerp, installatie en onderhoud

Ter beperking van de uitstoot uit een kachel of ketel is het essentieel dat toestel wordt gekozen met een capaciteit welke past bij de te verwarmen ruimte(n). Vervolgens moet deze op de juiste wijze worden geïnstalleerd. Omdat verbranding van biomassa in opkomst is en er veel nieuwe marktspelers actief zijn terwijl kwaliteitseisen nog niet verplicht zijn, worden er in de praktijk helaas nog onnodig veel fouten gemaakt in de ontwerpfase en de realisatiefase van een houtgestookte kachel of ketel.

Bij lokale verwarmingstoestellen kwam het in het verleden regelmatig voor dat een kachel vooral werd gekozen vanwege het sfeerelement en het vermogen niet of nauwelijks bepalend was in de keuze. Het risico van een te grote kachel is dat gebruikers de neiging hebben de luchttoevoer te beperken (smoren) om de warmteproductie te verminderen, wat kan leiden tot een significante toename in uitstoot. Om dit tegen te gaan kan de luchttoevoer bij veel moderne kachels niet meer volledig dicht worden gezet, het blijft echter beter om dit te voorkomen door een adequaat ontwerp met een niet te groot toestel.

Bij houtgestookte ketels is het van belang dat deze niet teveel in deellast worden bedreven, maar zoveel mogelijk op het nominale vermogen (vollast) worden bedreven en veranderingen in belasting rustig worden doorgevoerd. Om dit te bereiken moet een ketel zo klein mogelijk worden gekozen, waarbij een nageschakelde warmtebuffer de snelle variaties in warmtevraag kan opvangen. Een vuistregel is dat een warmtebuffer ongeveer 50 liter inhoud per kW nominaal ketelvermogen moet hebben.

Bij een kachel is het van belang dat het rookgasafvoerkanaal voldoende lang is en dubbelwandig wordt uitgevoerd. Daardoor wordt voldoende trek gegarandeerd en wordt tijdens de opstartfase condensatie van condenseerbare koolwaterstoffen op de nog koude wand van het rookkanaal tegengegaan. Eenmaal warm neemt met de rookgastemperatuur



ook de trek toe, waardoor het verbrandingsproces kan worden verstoord. Hiertoe kan een automatische trekbe grenzer worden geplaatst.

Bij een houtgestookte ketel is er meestal sprake van een rookgasventilator welke een onderdruk in de vuurhaard garandeert, zodat de schoorsteen niet per se nodig is om trek te realiseren. Wel dient deze dubbelwandig te worden uitgevoerd en voldoende hoog te zijn om voldoende verdunning van rookgassen te garanderen. Het rookkanaal dient tenminste jaarlijks te worden geveegd.

Tenslotte is het belangrijk dat de uitmondingsopening van een rookkanaal op de juiste plaats is aangebracht, rekening houdend met intredeopeningen voor ventilatie. Het Bouwbesluit 2012 geeft eisen en richtlijnen om overlast op het eigen perceel te voorkomen door eisen te stellen aan de toevoer van verbrandingslucht en de afvoer van rookgassen ten opzichte van intredeopeningen op eigen perceel. Om overlast naar aanpalende percelen te voorkomen wordt aangenomen dat voor zowel de uitmondingsopening als de intredeopening voor ventilatie van een aanpalend gebouw een afstand van tenminste 2 m loodrecht op de erfgrens volstaat. In de praktijk kan dit onvoldoende zijn, in dat geval zou het burendrecht (titel 5.4 BW) houvast moeten bieden.

Per 2014 bestaat voor de installatie van houtkachels het DE-certificaat (monteurs) en de DE-erkenning (bedrijven) op basis van het behalen van het diploma van de Vakopleiding Installateur Haarden, Kachels en Rookkanalen.

Voor biomassagestookte ketels bestaat een vergelijkbare opleiding met theorie en praktijkexamen en certificeringsregeling, welke is ontwikkeld door ISSO [56]. Met beide kwaliteitsregelingen voor installateurs wordt beoogd om kwalitatief betere installaties te realiseren, waardoor de bedrijfszekerheid, economische prestaties en milieubelasting worden geoptimaliseerd. Voor beide regelingen geldt echter dat ze vooralsnog vrijwillig van aard zijn en consumenten nog niet of nauwelijks op de hoogte zijn van het bestaan ervan, zodat er weinig aanleiding is voor installateurs om de opleiding te gaan volgen.

5.4 Nageschakelde rookgasreiniging

In 5.3 is uiteengezet hoe door een optimaal technisch ontwerp en optimale bedrijfsvoering de uitstoot uit een verbrandingsinstallatie kan worden beperkt. Mocht dit toch tot onvoldoende resultaten leiden zijn er aanvullend hierop (afhankelijk van type installatie, schaalgrootte en toepassing) soms mogelijkheden om nageschakelde rookgasreiniging toe te passen om verdere reductie te bewerkstelligen. Bij (industriële) houtstook is nageschakelde reiniging meestal vereist om te voldoen aan de wettelijke eisen.

5.4.1 Nageschakelde rookgasreiniging bij biomassagestookte ketels

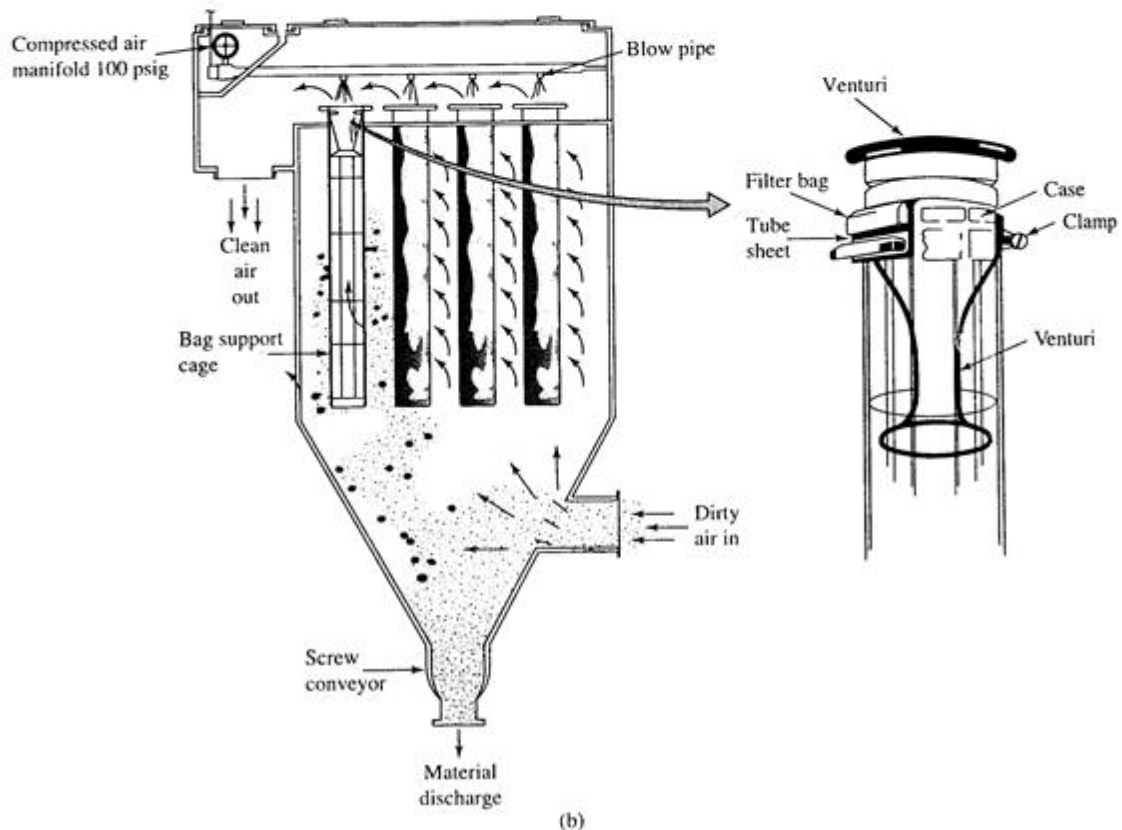
Om te voldoen aan de geldende emissieregeling is nageschakelde rookgasreiniging op dit moment vrijwel alleen noodzakelijk bij biomassagestookte ketels welke vallen onder het Activiteitenbesluit (zie 4.3). Dit betreft dan vooral de reductie van Nox en stof.



Om NO_x te reduceren volstaat in de regel de toepassing van niet-katalytische reductie (SNCR). Hierbij wordt (meestal) ureum geïnjecteerd bij een temperatuur tussen ca. 840 en 920°C om 60 tot 90% NO_x te verwijderen tot een emissieniveau van ca. 200-250 mg/m³ bij 6% O_2 . Hiermee wordt voldaan aan de eisen in het Activiteitenbesluit voor biomassagestookte ketels. Een nauwkeurige temperatuurcontrole en regulering van de hoeveelheid ureum (afhankelijk van de aanwezige NO_x concentraties) is hierbij van groot belang. Bij een te lage temperatuur of overmaat aan ureum wordt NO_x niet omgezet en wordt er ammoniakslib teruggevonden in het rookgas. Bij een te hoge temperatuur oxideert ammonium juist naar NO . Bij kleinere ketels waarbij de bedrijfsvoering relatief sterk kan fluctueren zijn de mogelijkheden beperkt om dit toe te passen [58].

Indien het noodzakelijk is om een nog lagere uitstoot te krijgen, kan er worden gekozen voor katalytische reductie van NO_x (SCR). Hierbij wordt ammoniak geïnjecteerd bij 300-400°C om NO_x te reduceren tot N_2 onder vorming van water. Dit kan in principe leiden tot een grotere reductie in uitstoot dan SNCR, echter veel katalysatoren zijn gevoelig voor verkorting van de levensduur vanwege vergiftiging, fouling of sintering door alkalimetalen (Na, K) in de rookgassen. Hierdoor kunnen de vervangingskosten significant oplopen [6].

Voor het verwijderen van fijnstof zijn afhankelijk van de situatie meerdere opties. Bij biomassagestookte ketels wordt grof stof vanaf ca 5 μm vrijwel altijd eerst grotendeels afgevangen met een (multi)cycloon. Daarna kan het resterende fijne stof grotendeels worden afgevangen met een doekfilter (zie Figuur 5.17) of elektrostatisch filter.

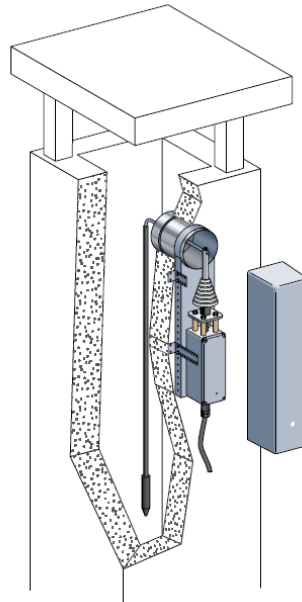


Figuur 5.17 Principewerking van een doekfilter waarmee fijnstof kan worden gereduceerd bij biomassagestookte ketels [58].

5.4.2 Nageschakelde rookgasreiniging bij kachels

Recentelijk zijn er een aantal producten op de markt gekomen voor nageschakelde rookgasreiniging bij particuliere houtkachels of kleinere houtgestookte ketels. Een voorbeeld van een commercieel beschikbaar elektrostatisch filter is weergegeven in Figuur 5.18. Deze filters vangen volgens de fabrikant ca 92% stof af en zijn te koop voor ca. 2.800 Euro [74,76,77]. Deze effectiviteit hangt wel sterk af van de omstandigheden, zo worden geurcomponenten en zware koolwaterstoffen welke nog gasvormig zijn bij de heersende temperaturen in het rookkanaal niet afgevangen. Ook is de geleidbaarheid van fijnstof uit onvolledige verbranding door de andere chemische samenstelling anders dan bij fijnstof uit een goed brandende biomassaketel, wat sterk ten koste gaat van het vangstrendement. Volgens een evaluatie door Obernberger uit 2011 kan het vangstrendement van elektrostatische filters voor fijnstof in de praktijk variëren tussen ca. 50-85% afhankelijk van type filter, type kachel of ketel, brandstof, opstartprocedure etc. [74]. Dit is beduidend lager dan bij biomassagestookte ketels, waar vangstrendementen tot ca 95% niet ongebruikelijk zijn. Bij een kachel wordt het filter geplaatst in het rookkanaal of bij de rookgasuitmonding. De meeste filters zijn uitgerust met een automatisch reinigingssysteem, waarbij door trilling,

een borstel of water het stof regelmatig van de electrode wordt verwijderd. Het stroomverbruik bedraagt typisch ca 10-30 W.



Figuur 5.18 Voorbeeld van een elektrostatisch filter voor particulier gebruik welke in het rookkanaal kan worden gemonteerd (Poujolat) [58].

Verder zijn er een aantal producten op de markt waarbij op basis van katalytische oxidatie op basis van platina of palladium de uitstoot van onverbrande koolwaterstoffen wordt gereduceerd, analoog aan het concept bij dieselmotoren. Sommige katalysatoren zijn geschikt om standaard in te bouwen in het rookkanaal van een houtkachel, anderen (ABCAT, MoreCAT) kunnen ook als nageschakelde technologie bij een bestaande houtkachel worden geplaatst. De kosten bedragen ca 300-750 Euro [76]. Volgens opgave van MoreCAT zou hiermee een reductie kunnen worden bereikt van 35 % stof, 75 % OGC, 82% CO en 95% roet.

Overigens zijn er recent wel een aantal goede ontwikkelingen met meer geavanceerde katalysatoren. Terwijl TU Graz in 2011 nog tot reducties kwam van ca. 14% CO en 15% koolwaterstoffen [74] kan volgens DBFZ met thans commercieel beschikbare katalysatoren een reductie van 50% CO, OGC en roet worden bereikt [61].

Voor de technische haalbaarheid van nageschakelde rookgasreiniging bij houtkachels is het belangrijk te vermelden dat de verschillende concepten in veel bestaande situaties niet goed inpasbaar zijn. Zo is er voor sommige concepten onvoldoende ruimte beschikbaar in de kachel of leidt plaatsing in het rookkanaal buiten de kachel tot onacceptabele vermindering van trek. Voor een optimale werking dienen nageschakelde technieken dan ook bij het ontwerp van een nieuw systeem te worden meegenomen. Ze zijn daarmee vooral geschikt voor nieuwe installaties.



5.5 Emissiefactoren: keuringseisen vs. Praktijk

Deze paragraaf beschrijft waarom de uitstoot van een kachel of ketel in de praktijk significant kan afwijken van de uitstoot tijdens een uitgevoerde typekeuring (gangbaar bij kachels of kleinere ketels) of een emissiemeting volgens het Activiteitenbesluit.

5.5.1 Kachels en ketels voor particulier gebruik

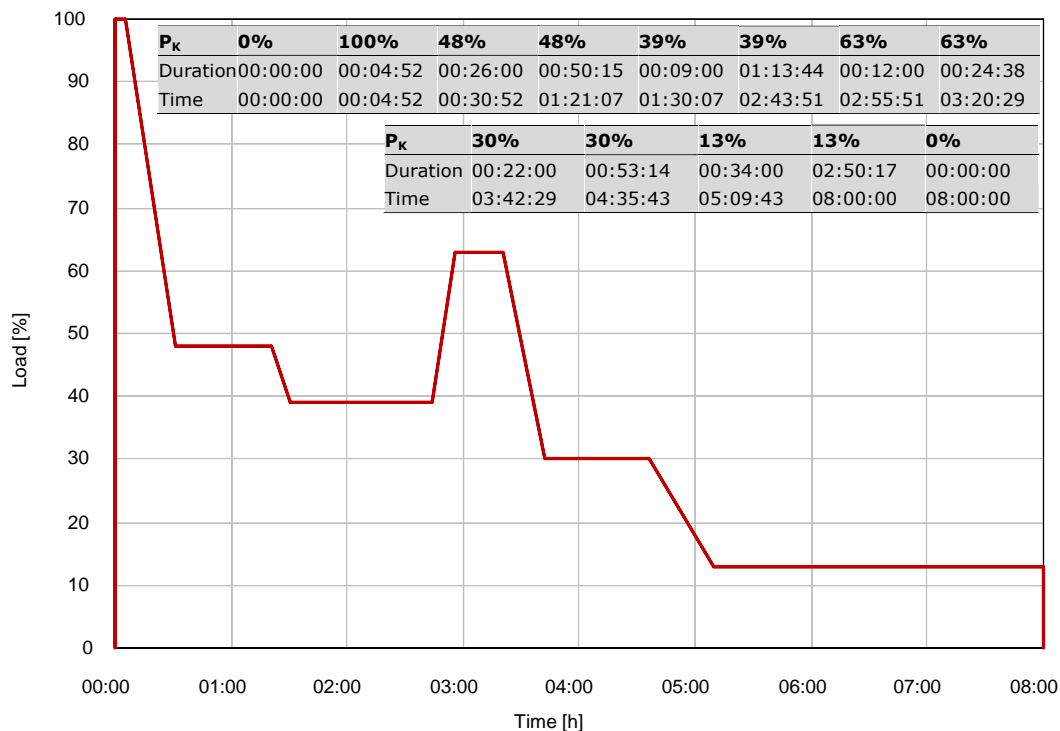
Voor houtkachels geldt dat de uitstoot onder praktijkomstandigheden meestal slechter uitkomt dan tijdens de verplichte typekeuring om de volgende redenen:

- Met de huidige typekeuring van houtkachels wordt alleen gemeten tijdens de stationaire fase van het verbrandingsproces welke plaatsvindt na de koude opstartfase waarin hogere emissies plaatsvinden. Het wegelaten van de opstartfase leidt tot een onderschatting van de uitstoot in de praktijk.
- Tijdens de typekeuring wordt de gunstigste van een aantal verschillende meetreeksen genomen, deze hoeft dus niet representatief te zijn voor de praktijk.
- In de gehanteerde meetmethode worden alleen stofdeeltjes gevangen welke bij de vigerende rookgastemperatuur in vaste vorm aanwezig zijn, terwijl na verdere afkoeling van de rookgassen naar de omgevingstemperatuur ook stoffen die eerder dampvormig zijn, als vloeistofdruppeltjes en vaste deeltjes verschijnen en meetbaar zijn als een aanvullende hoeveelheid fijnstof. Om deze reden wordt in verschillende andere Europese landen (m.n. Scandinavië) de zgn. 'verdunningstunnel' als meetmethode gehanteerd bij de typekeuring. Door de afkoeling van rookgassen condensereren deze dampvormige componenten en wordt aanzienlijk meer fijnstof gemeten. De thans in Nederland gehanteerde meetmethoden met het 'hot filter' leidt daarmee tot een onderschatting van de werkelijke hoeveelheid direct uitgestoten hoeveelheid fijnstof.
- De wijze van installatie, de eigenschappen van de gehanteerde brandstof en het gedrag van de gebruiker zijn in de praktijk meestal minder optimaal dan tijdens de typekeuring, wat kan leiden tot een aanzienlijke verhoging van de uitstoot.

In recent uitgevoerde Oostenrijks onderzoek in het kader van het Europese BeReal project is onderzocht welke wijze van houtstoken in houtkachels daar als representatief zou kunnen worden beschouwd en wat de invloed is van de wijze van stoken op de uitstoot en het kachelrendement [78]. Uit het onderzoek bleek bijvoorbeeld dat het merendeel van de gebruikers de kachel nu nog van onderaf aansteekt terwijl de handleiding aangeeft dat deze van bovenaf moet worden aangestoken. Ook blijkt de schoorsteentrek in de praktijk vaak aanzienlijk hoger te zijn dan door de fabrikant voorgeschreven.

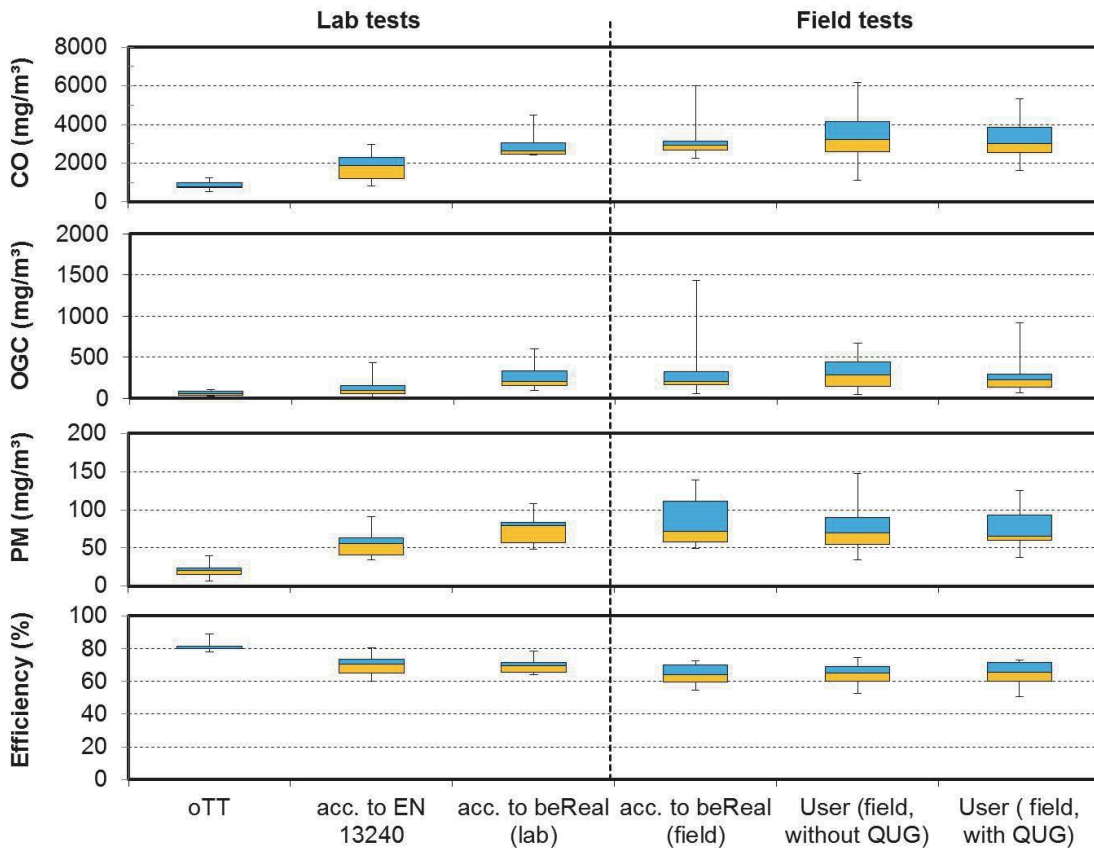
In het project is vervolgens ook de uitstoot van verschillende houtkachels en pelletkachels onder uiteenlopende praktijkcondities (representatief vs. Volgens de fabrikant voorgeschreven) vergeleken met de reguliere testwaarden welke zijn verkregen tijdens de typekeuringen. Tabel 5.2 laat een vergelijking zien van de uitstoot van een willekeurige kachel welke wordt gestookt volgens optimale omstandigheden (zoals door de fabrikant voorgeschreven in de handleiding) en volgens typische praktijkomstandigheden. Ter vergelijking is ook de (veel lagere) uitstoot volgens de typekeuring weergegeven.

In de Europese onderzoeksprojecten BEREAL en BIOMAXEFF is bij verschillende kachels en ketels onderzocht in welke mate emissiefactoren in de praktijk afwijken van de uitstoot onder nominale condities zoals verkregen bij de typekeuring. Hierbij is eerst onderzocht welke stookcyclus als representatief kan worden beschouwd. Vervolgens is deze referentiestookcyclus opgelegd aan een aantal toestellen, waarbij uitstoot volgens de typekeuring is vergeleken met de gemeten uitstoot.



Figuur 5.19 De door BEREAL voorgestelde referentiecycclus voor houtgestookte ketels [86].

In het BeReal project is vervolgens bij 13 verschillende kachels deze testcyclus vergeleken met de resultaten volgens de typekeuring. De resultaten voor de kachels zijn samengevat in Figuur 5.20 voor totaal stof, CO, OGC en rendement. Uit de grafiek blijkt dat de uitstoot van fijnstof, OGC en CO bij de testcyclus een factor 3-4 hoger ligt dan volgens de typekeuring. Ook laat de grafiek zien dat de ontwikkelde test goed de resultaten van gebruikers in de praktijk reflecteert.



Figuur 5.20 Vergelijking tussen (1) de resultaten uit typekeuring, (2) de door de onderzoekers nagebootste test bij nominale omstandigheden, (3) de Bereal test en (4) de resultaten uit 3 dagen met houtstook door verschillende eindgebruikers. [106].

De kleinere biomassagestookte ketels welke voor particulier gebruik worden ingezet vallen buiten de reikwijdte van het Activiteitenbesluit. Voor het verkrijgen van ISDE subsidie moet wel zijn aangetoond dat de ketel voldoet aan de in 4.3 genoemde eisen bij de typekeuring. De meetmethode voor biomassagestookte ketels is vastgelegd in de EN303-5 norm. Hierbij wordt de uitstoot onder constante nominale condities en bij constant 30% deellast als maatgevend beschouwd.

Net als bij houtgestookte kachels hangt ook bij ketels de verbrandingskwaliteit en uitstoot samen met voorkomende wisselende bedrijfscondities. Zo ontstaan er tijdens de opstart kortstondig hogere emissies van koolwaterstoffen dan later in het verbrandingsproces. Ook snelle wisselingen in vermogen en deellastbedrijf kunnen leiden tot een verhoogde uitstoot van fijnstof, CO en koolwaterstoffen. Dit leidt ertoe dat de behaalde uitstoot tijdens typekeuring meestal een onderschatting weergeeft van de uitstoot in de praktijk. Een vergelijking tussen uitstoot volgens de typekeuring en de gemeten uitstoot onder wisselende praktijkomstandigheden van een willekeurige pelletketel is weergegeven in Tabel 5.3.



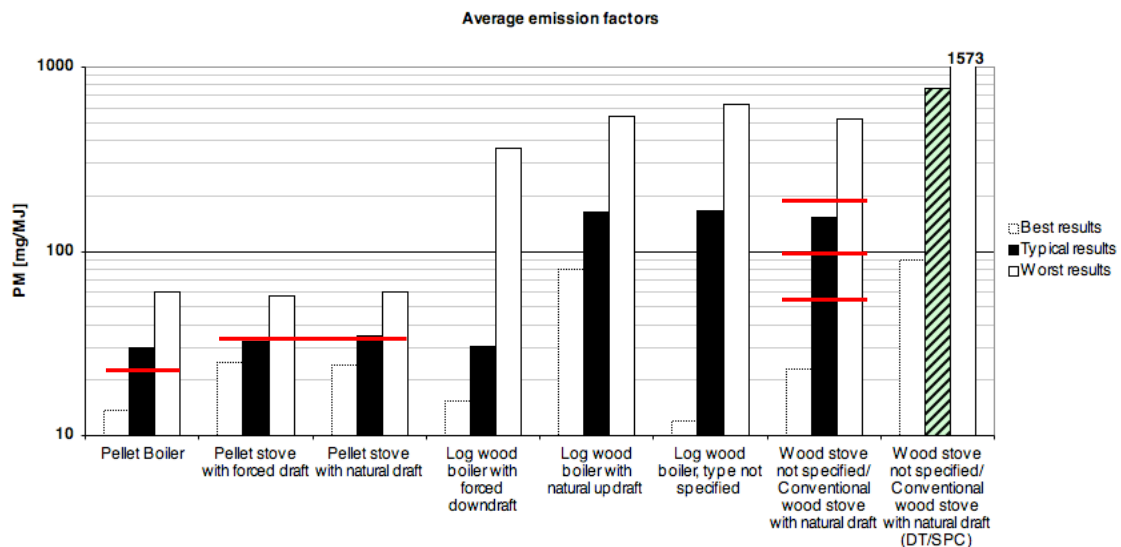
Tabel 5.3 Vergelijking tussen uitstoot bij nominale condities volgens typekeuring en bij de referentie-stookcyclus bij een 12 kW pelletketel [11, 86].

	Typekeuring volgens EN303-5 bij vollast	Real life testcyclus volgens Figuur 5.19
CO (g/GJ)	21	174
Nox (g/GJ)	79	80
OGC (g/GJ)	1	5
stof (g/GJ)	7	16
rendement (%)	91.4	78.7

Doordat alle ketels momenteel onder EN303-5 worden getest bij nominaal vermogen en bij 30% deellast, zijn ze hier ook voor geoptimaliseerd. Indien een ketelfabrikant ervoor zou kiezen om zijn product te optimaliseren voor een lagere uitstoot onder meer reële wisselende omstandigheden, kan hier een aanzienlijke verbetering in uitstoot (m.n. OGC) en rendement worden bereikt [89].

De emissiefactoren welke thans in gebruik zijn in het TNO-parkmodel wat wordt gehanteerd voor de Emissieregistratie (zie 3.1 en Appendix 2) zouden idealiter een representatieve schatting moeten geven zijn voor praktijkomstandigheden. Gezien de grote afhankelijkheid van lokale omstandigheden en onduidelijkheid rondom de wijze waarop deze emissiefactoren tot stand zijn gekomen is het echter aannemelijk dat er een significante onzekerheidsmarge bestaat rondom deze waarden. Fachinger [26] komt alleen al voor dezelfde kachel op een fout in de emissiefactor voor PM1 van ca 30%.

In Figuur 5.21 wordt een overzicht gegeven van emissiefactoren welke in verschillende IEA Bioenergy Task 32 lidlanden worden gehanteerd voor pelletketels, pelletkachels, stookhoutgestookte ketels en stookhoutgestookte kachels. Tevens is in rood weergegeven welke waarden in de modelberekeningen van hoofdstuk 3.1 zijn gehanteerd als typische emissiefactoren.



Figuur 5.21 Variatie in emissiefactoren van totaal stof bij houtgestookte ketels en kachels [68]. In rood zijn de in onderhavige studie gehanteerde emissiefactoren aangegeven.

Vanaf 2020 en 2022 worden onder de ECODESIGN verordening (2005/32/EC) nieuwe producteisen opgelegd aan houtgestookte kachels en ketels die dan op de markt zijn (zie ook 4.2). Het is interessant te zien dat de regeling met de introductie van een seizoensrendement erkent dat de haalbare rendementen in de praktijk meestal lager zijn dan tijdens de typekeuring. Voor de uitstoot geldt echter nog wel dat meting plaatsvindt onder nominale (optimale) condities excl. De opstartfase.

5.5.2 Biomassagestookte ketels onder het Activiteitenbesluit

Onder paragraaf 3.2.1 van het Activiteitenbesluit zijn de grenswaarden vastgelegd voor de uitstoot van biomassagestookte ketels welke met schone biomassa zoals houtpellets en houtsnippers worden gestookt en onderdeel uitmaken van een inrichting. Deze schrijft voor wat de uitstoot in de praktijk zou mogen zijn onder stabiele condities, dit dient direct na de ingebruikname en vervolgens periodiek te worden aangetoond middels metingen in de praktijk. Om het gebruik van biomassa te stimuleren is de vergunningplicht voor installaties tot 15 MW onder het Besluit Omgevingsrecht (BOR) komen te vervallen, hier kan worden volstaan met een melding.

Met het verbeteren van de verbrandingskwaliteit van biomassagestookte ketels (zie 5.3.4) zijn ook de emissie-eisen in de loop der jaren aangescherpt. Hierdoor kunnen er kleine verschillen bestaan in de emissie-eisen en/of uitstoot tussen twee verschillende bestaande installaties van dezelfde schaalgrootte en met dezelfde biomassa-brandstof, maar van verschillende leeftijd. Wel is aan oudere houtketels vanaf 1 MW opgelegd dat deze uiterlijk per 1 januari 2017 aan aangescherpte emissie eisen uit het Activiteitenbesluit moesten voldoen. Omdat dit in veel gevallen onrealistisch was, zijn deze uit gebruik genomen.



Bij de realisatie van een ketelinstallatie is het technische ontwerp erop gericht dat (na de initieel hogere uitstoot tijdens de opstartfase) steeds wordt voldaan aan de eisen uit het Activiteitenbesluit, inclusief een veiligheidsmarge. Er kan daarom redelijkerwijs worden aangenomen dat de werkelijke uitstoot van verschillende componenten tijdens reguliere bedrijfsvoering bij ketels lager is dan wat is opgelegd volgens de emissieregelgeving. Het kan echter ook voorkomen dat de uitstoot tijdelijk hoger is, bijvoorbeeld tijdens opstart van een nog koude installatie of in geval van storingen of calamiteiten. Door een kwalitatief goede installatie te realiseren en deze op de juiste wijze te bedienen (zie 5.3.4) kunnen dergelijke pieken worden voorkomen of beperkt.



6 Gezondheidseffecten en overlast van verschillende typen toestellen.

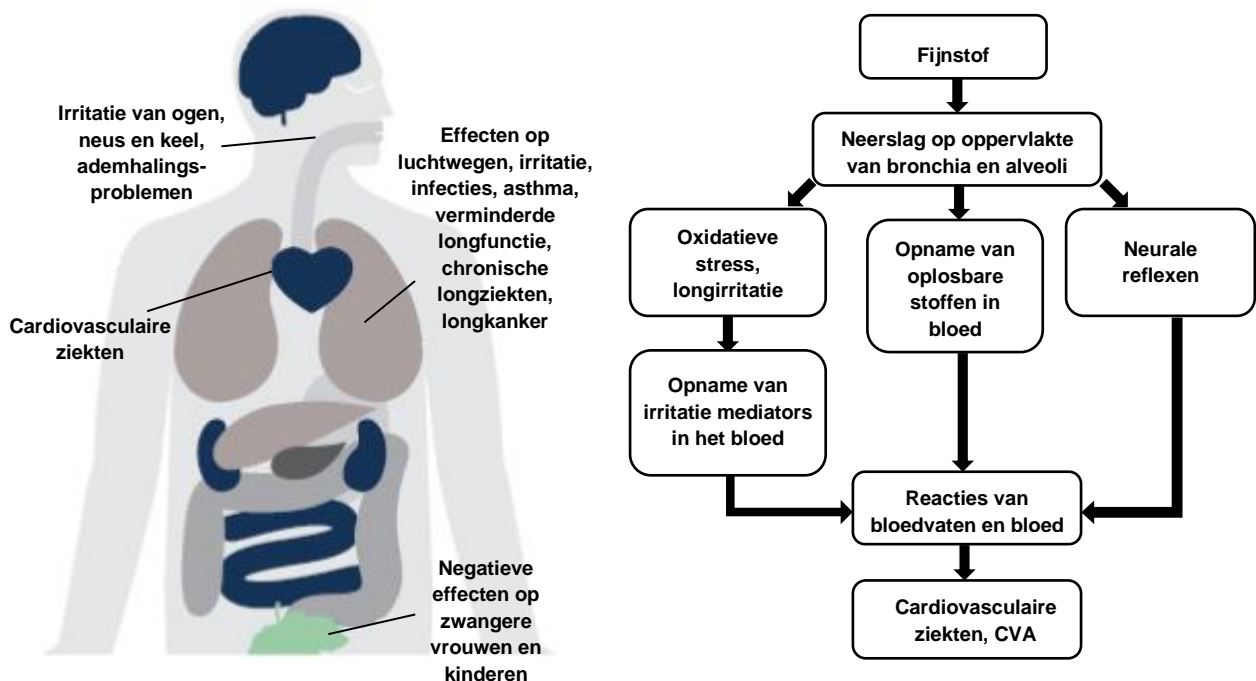
De in de huidige wetgeving veronderstelde gezondheidseffecten van biomassaverbranding richten zich vooral op de vrijgekomen hoeveelheid fijnstof en de omgevingsconcentraties (PM10 en PM 2.5). Recent onderzoek laat zien dat er daarnaast ook grote verschillen kunnen zijn in de gezondheidseffecten per gram fijnstof (toxiciteit) als gevolg van verschillen in samenstelling [3, 27,28,35,37,44,45,46,48,49,51, 52,55,53,63,93, 94,103, 109]. Daarbij neemt bij een slechte verbrandingskwaliteit niet alleen de hoeveelheid fijnstof toe, maar ook de toxiciteit ervan.

Over de mogelijke verschillen in toxiciteit van fijnstof tussen verschillende bronnen wordt tot nu toe weinig gecommuniceerd, het wordt ook niet meegenomen als relevante parameter in regelgeving. Uit recent onderzoek blijkt echter dat vooral teren en roet (black carbon) in fijnstof uit een slecht brandende kachel schadelijk zijn, terwijl anorganische stof (zouten) uit een goed brandende volautomatische ketel veel minder schadelijk is. Dit pleit ervoor om de uitstoot uit slecht brandende kachels anders te beoordelen dan de uitstoot uit een goed brandende volautomatische ketel.

6.1 Gezondheidseffecten van fijnstof

Deze paragraaf geeft een beknopt overzicht van recent wetenschappelijk onderzoek naar de gezondheidseffecten van verschillende vormen van biomassaverbranding.

Verschiedende studies tonen aan dat fijnstof uit biomassaverbranding kan leiden tot negatieve gezondheidseffecten, al is dit beeld niet geheel consistent [3, 35]. Blootstelling aan houtrook wordt in sommige studies geassocieerd met meer (ziekenhuisopnamen voor) hart- en vaataandoeningen, luchtwegklachten en een verslechterde longfunctie [35]. Het RIVM stelt dat fijnstof uit houtrook even schadelijk is voor de gezondheid als fijnstof uit verkeer [35]. De WHO noemt toename van astma en COPD, bronchiolitis, middenoorontsteking en hart- en vaatziekten als gezondheidseffecten van houtrook [105]. Vooral de ultrafijne deeltjes (PM1) worden onvoldoende gefilterd door neus en luchtpijp en kunnen in de longen terechtkomen en daar schadelijke effecten veroorzaken (Figuur 6.1). Naast fijnstof is het ook van koolmonoxide, verschillende vluchtige organische stoffen en PAK's (polycyclische aromatische koolwaterstoffen) bekend dat ze negatieve gezondheidseffecten kunnen veroorzaken.



Figuur 6.1 Negatieve gezondheidseffecten van fijnstof (links) en schadelijke effecten van fijnstof (rechts) [67].

Specifiek voor het bepalen van de toxiciteit van fijnstof zijn verschillende typen onderzoek uitgevoerd:

- **Epidemiologische** studies, waarbij de effecten van langdurige menselijke blootstelling worden onderzocht. Een voordeel van deze methode is dat ook het effect van secundaire aerosolen wordt meegenomen. Een nadeel is dat de dosis moeilijk kwantificeerbaar is, verder is ook de causaliteit beperkt, effecten zijn moeilijk te correleren aan enkel houtrook.
- Bij **in vivo** exposure studies worden dieren en mensen kortdurig maar met realistische concentraties blootgesteld aan houtrook. Hierdoor ontstaat een goed verband tussen blootstelling en korte termijn effecten. Nadelen zijn dat er eigenlijk geen goede mogelijkheden zijn tot langdurige blootstelling bij hogere concentraties. Ook kan de respons van verschillende proefpersonen sterk uiteenlopen en is de respons van dieren weer verschillend van die van mensen.
- Bij **in vitro** exposure studies worden dierlijke en menselijke longcellen blootgesteld aan goed gedefinieerde hoeveelheden fijnstof. Dit leidt tot goed reproduceerbare resultaten. Een nadeel is dat de blootstelling mogelijk niet geheel realistisch is. Ook is de respons van individuele (dierlijke) cellen niet altijd representatief voor een compleet menselijk lichaam. Voor zowel in vivo en in vitro onderzoek geldt verder dat het lastig is om ook het effect van secundaire aerosolen mee te nemen.

Bij een aantal epidemiologische studies is een relatie gevonden tussen fijnstof uit biomassaverbranding en negatieve gezondheidseffecten, echter het is hierbij lastig om specifieke causale relaties te identificeren en houtrook te verbinden aan bepaalde



specifieke gezondheidseffecten [28]. Ook wordt bij experimenten soms gebruik gemaakt van hogere doseringen tijdens kortere perioden, waardoor het de vraag is of de effecten ook optreden bij realistische concentraties [35].

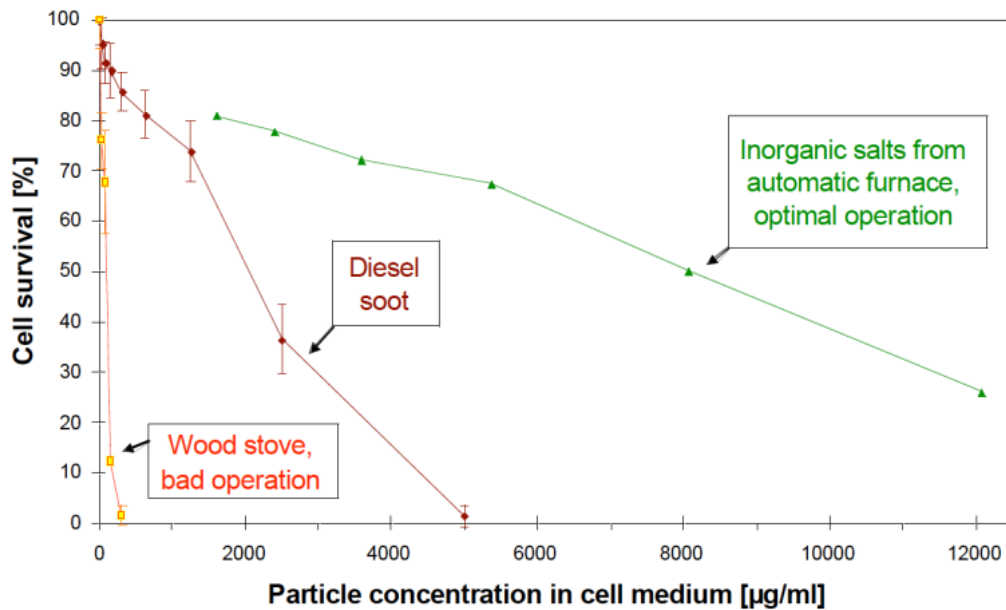
Verschillende in vivo en in vitro studies tonen aan dat fijnstof uit biomassaverbranding verschillende negatieve gezondheidseffecten kan hebben zoals cytotoxiciteit, oxidatieve stress, ontstekingsreacties, fysiologische effecten, genotoxiciteit en carcinogeniteit [27,28,37,46,45,44,52,55,53,63,94,93,109].

Recentelijk is in het Europese BIOHEALTH project uitvoerig onderzoek gedaan naar de gezondheidseffecten van houtrook. Zij vatten hun onderzoek samen in de volgende 6 conclusies [49]:

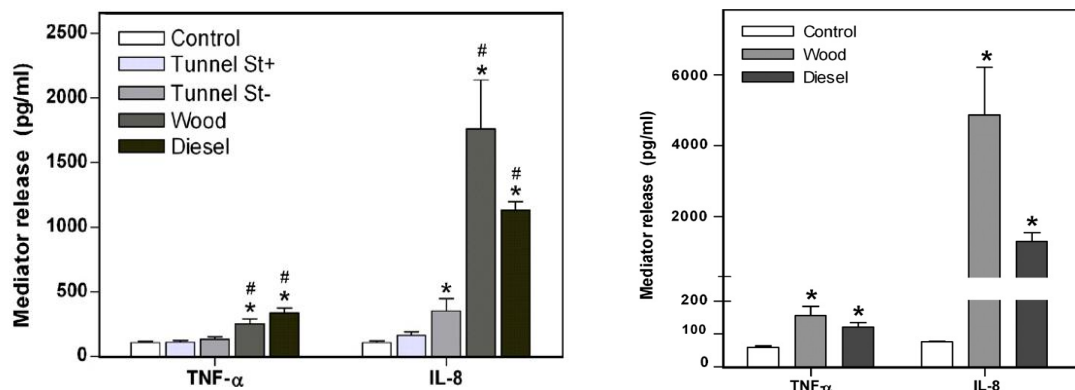
1. Biomassa moet efficiënt worden verbrand om de schadelijke effecten van fijnstof op gezondheid te beperken
2. Aanbevolen wordt dat biomassa wordt ingezet met een laag gehalte aan Zn, zoals stamhout, in plaats van afvalhout of hout met veel bast met een relatief hoog Zn-gehalte.
3. PAK's en roet zijn de meest schadelijke componenten welke vrijkomen bij onvolledige verbranding. Daarbij hebben PAK's vooral een invloed op de volksgezondheid, terwijl roet vooral van belang is als climate force.
4. Na de schoorsteen vinden er onder invloed van zonlicht en ozon diverse chemische reacties plaats tussen vrijgekomen roet en PAK's. De hierbij gevormde secundaire organische aerosolen leiden tot een verhoogd negatief gezondheidseffect.
5. De samenstelling van stofdeeltjes heeft invloed op de afzetting in de luchtwegen, waarbij teren (afkomstig van onvolledige verbranding) eerder afzetten dan zouten van bijvoorbeeld pelletverbranding. Bovendien bleek in het onderzoek dat bij COPD patiënten meer stof neersloeg dan bij gezonde personen.
6. De resultaten van de epidemiologische studies waren in overeenstemming met die van in vitro studies.

6.1.1 Gezondheidseffecten van organische componenten in fijnstof

Uit verschillende in vitro studies blijkt dat de celrespons niet alleen afhankelijk was van de af van de toegevoerde dosis, maar ook van de omstandigheden van verbranding, waarbij stof uit onvolledige verbranding in een eenvoudige verbrandingsinstallatie leidt tot een hogere respons op celtoxiciteit en celfuncties dan stof uit (bijna) volledige verbranding. Uit in vitro studies blijkt dat bij blootstelling van cellen aan stof en teren de cytotoxiciteit en carcinogeniteit toeneemt in de volgorde: zouten, roet en teren (Figuur 6.2 en ook Figuur 6.3) [46,52]: Met name vrije zuurstofradicalen in het rookgas uit onvolledige verbranding kunnen leiden tot oxidatieve stress en negatieve gezondheidseffecten [67]. Figuur 6.2 laat zien dat de negatieve gezondheidseffecten van houtrook uit een slecht brandende kachel groter kunnen zijn dan die van stof uit een dieselmotor. Bij een goed brandende biomassaketel echter bestaat het stof vooral uit zouten en is het effect veel minder dan bij een dieselmotor.

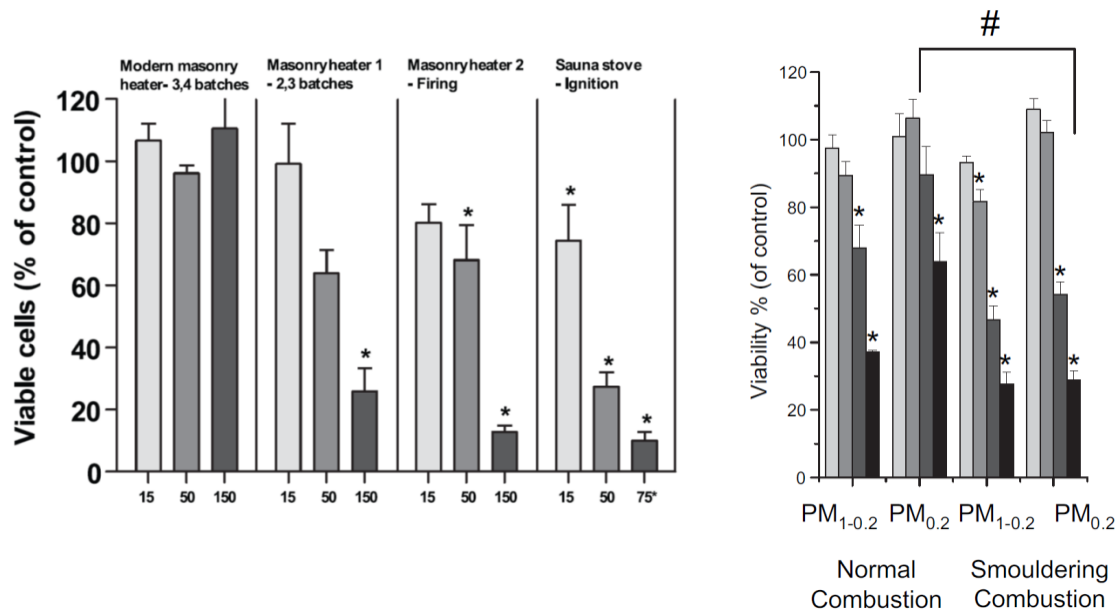


Figuur 6.2 Percentage overlevende longcellen van muizen als functie van de concentratie fijnstof in het celmedium voor fijnstof uit een pelletketel (vooral zouten) dieselmotor (vooral roet), en een slecht bedreven houtkachel (vooral teren). [51].



Figuur 6.3 De hoeveelheid vrijkomende markers TNF-α en IL-8 na 12 uur blootstelling van cellen aan dezelfde hoeveelheden fijnstof uit een dieselmotor en een slecht brandende kachel, in vergelijking tot controlemeting (30 µg/ml links en 140 µg/ml rechts). [54].

Ook Jalava en Tapanainen et al [46, 93, 94] stelde longcellen bloot aan variërende concentraties fijnstof van verschillende typen kachels (Figuur 6.4). Hieruit bleek eveneens dat het stof uit de oudere kachels een hogere cytotoxiciteit en carcinogeniteit heeft dan dat van de nieuwere kachels en automatisch gestookte ketels.



Figuur 6.4 Links: Overleving van menselijke BEAS-2B epitheelcellen in de luchtpijp na blootstelling aan drie doseringen stofdeeltjes (15, 50 en 150 µg/ml) uit vier verschillende stukhoutgestookte kachels [93]. Rechts: Overleving van RAW 264.7 macrofagen na blootstelling aan vier verschillende doses (15, 50, 150 en 300 µg/ml) van PM_{1-0.2} en PM_{0.2} uit normale en gesmoorde verbranding [46].

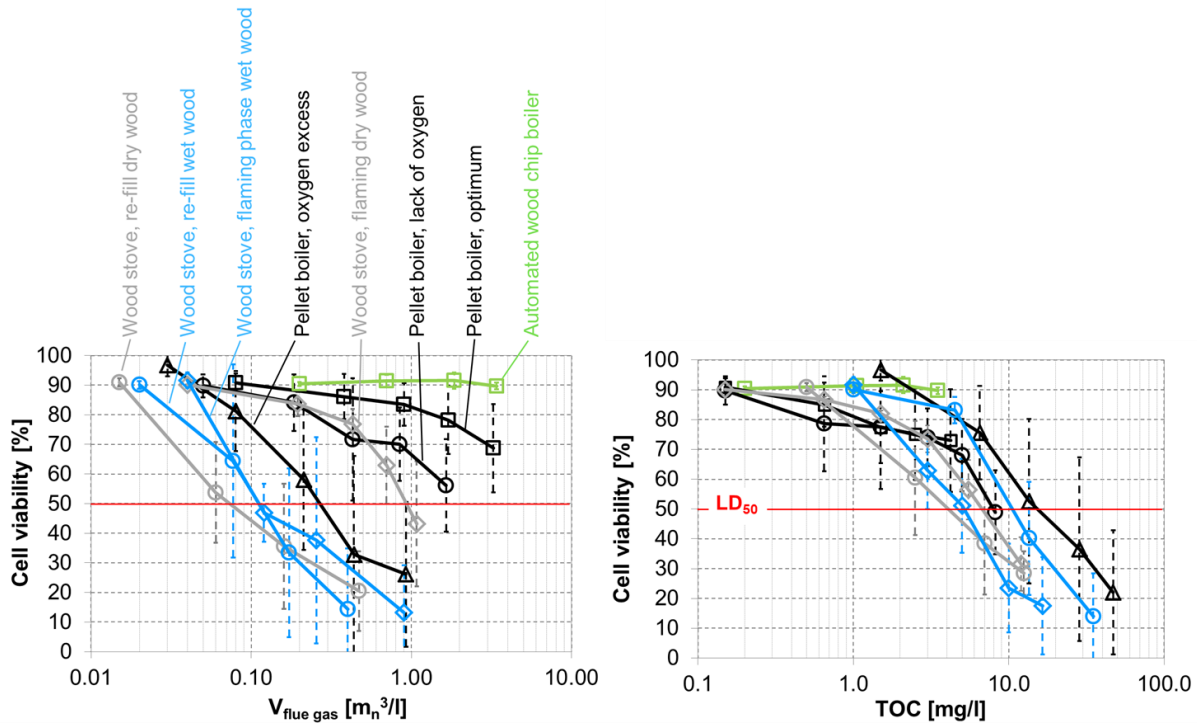
Naast de hogere cytotoxiciteit en carcinogeniteit is vanzelfsprekend ook de hoeveelheid (dosis) fijnstof van belang voor de volksgezondheid.

In Figuur 6.5 geeft de rechter figuur de resultaten weer van cytotoxiciteitstesten waarbij cellen zijn blootgesteld aan fijnstof wat afkomstig is van verschillende verbrandingscondities. Met uitzondering van het fijnstof uit een automatisch houtsnippergestookte ketel (waarbij de lijn bijna horizontaal loopt) zijn de resultaten redelijk vergelijkbaar.

De linker figuur geeft de celoverleving weer tegen het rookgasvolume. Omdat het rookgasvolume evenredig is met de opgewekte hoeveelheid warmte, maakt deze figuur een vergelijking mogelijk van de gezondheidseffecten van verschillende verbrandingstoestellen bij dezelfde warmteproductie. Hieruit blijkt opnieuw dat er geen significant effect optreedt bij automatische verbranding in een houtsnippergestookte ketel (groene lijn). Bij een optimaal gestookte pellet boiler laat het onderzoek ook een lage toxiciteit zien, dit neemt echter sterk toe bij suboptimale verbranding omdat dan de hoeveelheid organische stof toeneemt. Vergelijkbaar aan de onderzochte pelletketel neemt de cytotoxiciteit bij de onderzochte houtkachel toe met ongeveer een factor 10 op het moment wanneer deze wordt bijgevuld ten opzichte van de reguliere vlamme fase van het verbrandingsproces.

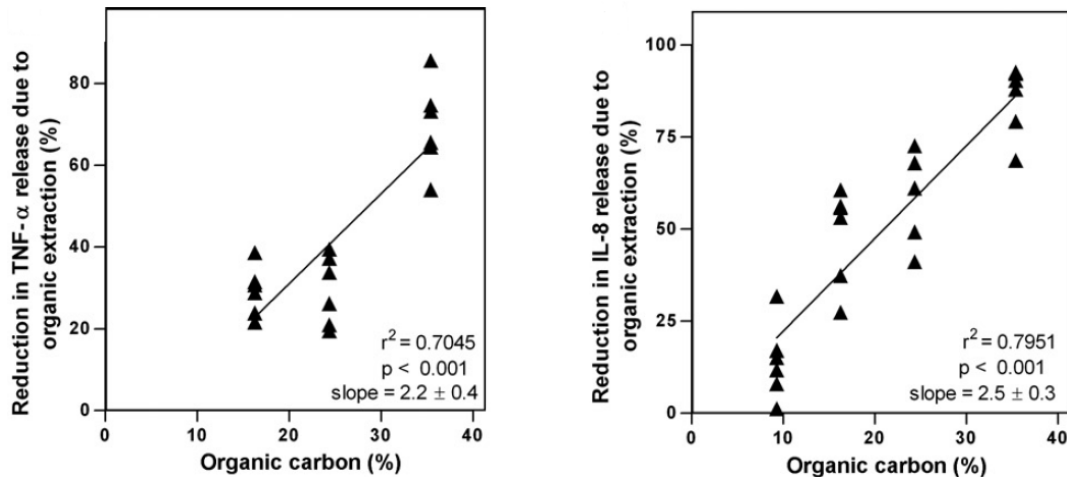


Dit komt omdat op dit moment tijdens het verbrandingsproces meer teren vrijkomen (zie ook 5.1.1)



Figuur 6.5 Cel overleving bij blootstelling aan fijnstof van verschillende verbrandingscondities. Links uitgezet als functie van het rookgasvolume, rechts als functie van de hoeveelheid organische stof in het stof (TOC) [109].

Bovenstaand onderzoek van Zotter et al suggereert dat de totale hoeveelheid organische koolstof (TOC) kan worden gezien als een goede indicator voor de celtoxiciteit. Kocbach [55] vond een vergelijkbare relatie tussen de aanwezigheid van organische koolstof en de afname van ontstekingsbevorderende stoffen TNF- α en IL-8 (Figuur 6.6).



Figuur 6.6 Afname van ontstekingsbevorderende stoffen TNF- α en IL-8 van de monocytische cellijn THP-1 als functie van de toegevoerde hoeveelheid organische stof [55].

Om de gezondheidseffecten van in het uitgestoten fijnstof uit verschillende toepassingen voor biomassaverbranding te kunnen vergelijken, kan daarom ook worden gekeken naar het aandeel organische componenten. In Tabel 6.1 zijn de emissiefactoren voor de organische component in fijnstof in afnemende volgorde gerangschikt. De tabel vergelijkt de in onderhavige onderzoek gehanteerde emissiefactoren voor fijnstof met waarden uit de literatuur, waarbij tevens het typische aandeel organische stof is weergegeven.

Uit de tabel blijkt dat de relatief hoogste emissiefactoren voor organisch fijnstof voorkomt bij vuurkorven en open haarden, de laagste bij de grotere biomassagestookte ketels. De verhouding in emissiefactoren voor organisch fijnstof tussen beide extremen is een ordegrrootte 3000. Het is wel belangrijk te noemen dat de hoeveelheden brandstof die in deze toepassingen worden gestookt ook sterk uiteen kunnen lopen, waarbij relatief kleine vuurkorven, open haarden en oudere houtkachels meestal kortstondig worden gestookt en de grotere bioketels over langere perioden.

Zoals ook in hoofdstuk 5 genoemd bevat houtrook naast fijnstof verschillende andere schadelijke organische componenten zoals SOA (secundair organisch aerosol). Alhoewel de schadelijkheid hiervan nog niet goed in beeld is gebracht, geldt net als bij organische koolstof in fijnstof dat de hoeveelheid toeneemt bij een verminderde verbrandingskwaliteit.

Zoals hoofdstuk 7 laat zien, is de impact op langdurig gemiddelde lokale omgevingsconcentraties van alle toepassingen meestal verwaarloosbaar, maar kunnen vuurkorven, open haarden en oudere houtkachels wel kortstondige hinder in de directe omgeving veroorzaken.

**Tabel 6.1 Emissiefactoren voor totaal stof en de organische component in fijnstof, gerangschikt op de organische component in fijnstof [103].**

Type toestel en gehanteerde emissieregelgeving	Typische waarde, gehanteerd in hst. 3	Variatie volgens [103]		
	g/GJ	g/GJ	% OC	g OC/GJ
vuurkorven en open vuren	578	578	80%	462
open haard	167	322..1610	40..75%	150..800
kachels en haarden conventioneel	202	140..225	50%	70..120
kachels en haarden modern	101	46..90	20%	10..20
pelletkachels (ISDE)	32	3..43	10%	1..8
pelletketels particulieren (ISDE)	23	3..29	5%	0..2
bioketel < 1,5 MW (NER F7)	20		3%*	0,6
bioketel <1 MW vanaf 2015 (Act. Besluit)	15		2%*	0,3
bioketel 1,5 -5 MW onder NER F7 < 2010	14		2%*	0,3
bioketel 1-5 MW (AB sinds 2010)	8		2%*	0,2

*voor de grotere ketels wordt het aandeel OC in fijnstof geschat op 2-3%.

6.1.2 Gezondheidseffecten van anorganische componenten in fijnstof

Behalve organische stof kunnen ook bepaalde anorganische componenten in fijnstof schadelijk zijn. Zo hebben zink, koper en cadmium (van nature vooral aanwezig in bast) de eigenschap vluchtig te worden bij de temperaturen in de vuurhaard en bij lagere temperaturen als PM1 te agglomereren of neer te slaan op andere stofdeeltjes. In vitro onderzoek wijst uit dat dit kan leiden tot verhoogde cytotoxiciteit en acute celsterfte [48]. Het is daarom raadzaam om bij gebruik van dergelijke brandstoffen met verhoogde concentraties zware metalen, ook bij praktisch volledige verbranding zoals in een automatische houtsnippergestookte ketel, nageschakelde rookgasreiniging toe te passen zoals een doekfilter of elektrostatisch filter (zie ook 5.4.1).

6.2 Hinder door houtrook

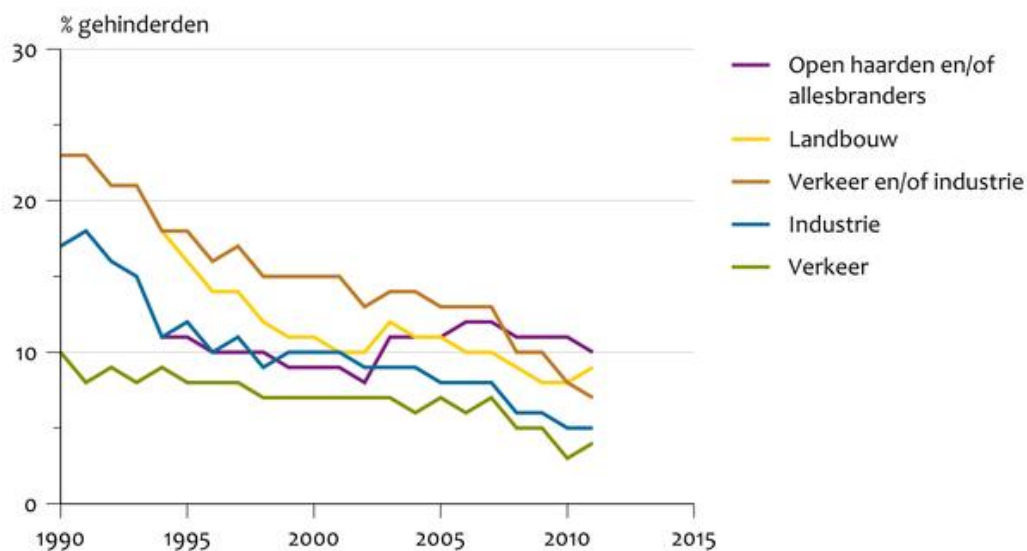
In de woonomgeving kan hinder door houtrook gerelateerd zijn aan geuroverlast of neerslag van roet. In de laatste peiling door het CBS in 2011 naar de waardering van de leefomgeving werd geurhinder door sfeerverwarming zelfs als grootste bron van hinder genoemd door de respondenten [15]. Volgens dit onderzoek heeft 10% van de Nederlanders wel eens last van houtrook. In stedelijk gebied ligt dit hoger, meer recente onderzoeken uit Amersfoort (2017) en Utrecht (2016) geven aan dat respectievelijk 28% en 20% van de bevolking wel eens last heeft van houtrook [9, 31]. Een belangrijk deel van de klachten in laatstgenoemde onderzoeken komt overigens van open vuur buitenshuis (vuurkorven) in plaats van kachels en haarden.



In tegenstelling tot langdurige gezondheidseffecten door de inhalatie van fijnstof is geurhinder in principe een korte-termijn effect. Toch kan het bij herhaling leiden tot verstoring van gedrag en stressgerelateerde klachten en is daarom mede gezondheidsgelateerd. De mate waarin dit als hinderlijk wordt ervaren is o.a. afhankelijk van type geur, duur en frequentie van de blootstelling en verschilt per persoon [35]. Ouderen en mensen met een hart- en vaatziekte en gezonde kinderen krijgen eerder gezondheidsklachten door houtrook. Deze 'gevoelige groepen' kunnen benauwd worden, moeten veel hoesten en hun longfunctie wordt slechter [91]. Zie ook 7.4 voor een analyse van de relatie met houtverbranding.

Waargenomen geur bij biomassaverbranding is gerelateerd aan onvolledige verbranding, zoals dit bijvoorbeeld optreedt bij de opstart van een houtkachel. De overlast kan worden beperkt door gebruik te maken van droog hout, en het toestel op de juiste wijze aan te steken en te stoken (zie ook 5.3).

Geurhinder per bron



Bron: CBS.

CBS/jul12/0290
www.compendiumvoordeleefomgeving.nl

Figuur 6.7 Geurhinder per bron in de leefomgeving [15].

7 Impact houtstook op lokale luchtkwaliteit

In dit hoofdstuk worden de effecten van particuliere en kleinschalige industriële houtstook op de lokale luchtkwaliteit inzichtelijk gemaakt. De causaliteit tussen stofuitstoot uit houtstook en meetbare omgevingsconcentraties fijnstof is in de praktijk vaak lastig aan te tonen omdat er vaak meerdere bronnen van fijnstof tegelijkertijd zijn. Voor het meten van bijdrage van houtstook aan de lokale fijnstof achtergrondconcentraties en naar het ontstaan van hinder door geur en roet wordt daarom vaak een stof als levoglucosan, BaP of elementair koolstof (EC) of organisch koolstof (OC) gebruikt. De relevantie van blootstelling voor de gezondheid is beschreven in hoofdstuk 6.

7.1 Uitgangspunten berekening impact fijnstof

Tabel 7.1 geeft een overzicht van de gehanteerde aannames voor vollasturen, rendement, vermogens en rookgastemperaturen en rookgasdebieten. De aannames komen overeen met de modelberekeningen uit hoofdstuk 3.

Tabel 7.1 Gehanteerde parameters voor het berekenen van de emissievrachten

Toestel	Vollast uren	Rendement	Vermogen		Rookgas	
			Nominaal	Brandstof	Temp	Debiet
	[h/y]	[%]	[kW]	[kW]	[°C]	[Nm ³ /MJ brandstof]
Open haard	100	10%	1,86	18,6	280	2,60
Conventionele kachel	594	45%	4,50	10,1	460	0,82
Moderne kachel (DIN+)	1057	80%	4,54	5,7	270	0,54
Pellet ketel	1039	85%	5,69	6,7	250	0,44
Bedrijven (0-1 MW)	3000	90%	667	740	150	0,57
Bedrijven (1-5 MW)	3500	90%	2778	3084	150	0,57

In Tabel 7.2 worden de emissiefactoren voor PM₁₀ en PM_{2.5} berekend op basis van het TNO parkmodel (appendix 2) en de emissies van condenseerbare koolwaterstoffen (appendix 3). De emissiefactoren voor ketels bij bedrijven zijn net als in hoofdstuk 3.2 gebaseerd op de maximale waarden waarbij net aan de eisen uit het Activiteitenbesluit wordt voldaan. Dit zijn de maximaal toelaatbare waarden, waardoor er geen verschil is met de maximale uitstoot.



Tabel 7.2 Gehanteerde emissiefactoren voor het berekenen van de emissievrachten

Toestel	TNO parkmodel		KWS _{cond}	Totale emissiefactor	
	PM ₁₀	PM _{2.5}		PM ₁₀	PM _{2.5}
	[mg/MJ]	[mg/MJ]	[mg/MJ]	[mg/MJ]	[mg/MJ]
Open haard	161	154	484	645	638
Conventionele kachel	194	186	323	517	509
Moderne kachel (DIN+)	52	50	80	132	130
Pellet ketel	32	31	2	33	33
Bedrijven (0-1 MW)	15	14	1	16	15
Bedrijven (1-5 MW)	7	7	1	8	8

Voor kachels en haarden zijn de emissiefactoren voor EC en OC berekend op basis van de door Vincente cs [103] gerapporteerde gehalten van deze verbindingen in de PM_{2.5} fractie van het stof. De hieruit berekende emissiefactoren voor EC en OC staan in Tabel 7.3.

Tabel 7.3 Afgeleide emissiefactoren voor EC- en OC voor particuliere houtstook op basis van door Vicente cs [103] gerapporteerde gehalten in de PM_{2.5} stoffractie

Toestel	EC emissiefactor		OC emissiefactor	
	Gem	Max	Gem	Max
	[mg/MJ]	[mg/MJ]	[mg/MJ]	[mg/MJ]
Open haard	58	118	303	621
Conventionele kachel	52	80	289	437
Moderne kachel (DIN+)	52	39	39	47
Pellet ketel	8	12	2	3
Bedrijven (0-1 MW)	4	4	1	1
Bedrijven (1-5 MW)	2	2	0	0

Op basis van de aannames in bovenstaande tabellen wordt in Tabel 7.4 de gemiddelde momentane emissievracht voor PM₁₀, PM_{2.5}, fijnstof en roet weergegeven. Tevens wordt de maximale uitstoot volgens de publicatie van Vicente cs [103] vermeld. Uit de tabel blijkt opnieuw dat het door houtstook geëmitteerde fijnstof vrijwel volledig uit PM_{2.5} bestaat.

**Tabel 7.4 Gehanteerde emissievrachten per toestel voor fijnstof (gemiddelde en maximaal)**

Toestel	Warmte-productie	PM ₁₀ [g/h]		PM _{2.5} [g/h]		EC [g/h]		OC [g/h]	
	kW	Gem	Max	Gem	Max	Gem	Max	Gem	Max
Open haard	1,86	43,2	88,5	42,7	87,6	3,9	7,9	20,3	41,6
Conventionele kachel	4,50	18,7	28,4	18,5	27,9	1,9	2,9	10,5	15,8
Moderne kachel (DIN+)	4,54	2,7	3,3	2,7	3,2	0,7	0,8	0,8	1,0
Pellet ketel	5,69	0,8	1,1	0,8	1,1	0,2	0,3	0,1	0,1
Bedrijven (0-1 MW)	667	41,5	41,5	40,3	40,3	9,4	9,4	2,7	2,7
Bedrijven (1-5 MW)	2778	91,6	91,6	89,2	89,2	19,6	19,6	5,5	5,5

7.2 De impact van kachels en ketels voor particulier gebruik

Om deze effecten in beeld te brengen zijn modelberekeningen uitgevoerd. Dit is een complexe materie omdat deze impact afhankelijk is van een veelheid aan factoren. Hierdoor is iedere situatie rondom particuliere houtstook in feite uniek en kan deze niet in algemene termen beschreven of beoordeeld worden. Om de impact van de verschillende vormen van houtstook op de lokale luchtkwaliteit onderling te kunnen vergelijken, wordt een standaard situatie gedefinieerd. In de berekeningen is allereerst uitgegaan van typische waarden, zoals aangenomen in het 'parkmodel' van TNO (zie ook Appendix 2). Vervolgens is een inschatting gemaakt van de emissies aan secundair aerosol. Deze is gelijkgesteld aan de emissie van condenseerbare koolwaterstoffen (zie Appendix 3). De totale fijnstofemissie (PM₁₀ en PM_{2.5}) is berekend door de fijnstofemissie volgens het TNO parkmodel en de emissie van condenseerbare koolwaterstoffen bij elkaar op te tellen. Tot slot is het effect geëvalueerd van mogelijke variaties in uitstoot (zoals in de literatuur aangegeven [103]) op de lokale luchtkwaliteit

7.2.1 Bepalende factoren en gehanteerde aannames voor de modelberekeningen

Verskillende factoren bepalen de impact van houtstook op de lokale luchtkwaliteit. Hieronder worden deze factoren benoemd, en wordt toegelicht welke aannames zijn gedaan in de modelberekeningen.

1. De aanwezigheid van specifieke componenten die relevant zijn voor de volksgezondheid.

In voorgaande hoofdstukken is een uitgebreid overzicht gegeven van componenten die zich in houtrook bevinden. De modelberekeningen hebben zich beperkt de componenten fijnstof (PM₁₀ en PM_{2.5}), geur en roet (Elementair koolstof EC en Organisch koolstof OC). Dit omdat deze componenten de gezondheidseffecten en hindereffecten van houtrook goed in beeld brengen en omdat er emissiegegevens van deze componenten voorhanden zijn.



2. Het type kachel/ketel en dan met name de ouderdom van het toestel;

Bij de modelberekeningen zijn de effecten vergeleken van diverse typen toestellen, namelijk open haarden, conventionele kachels en inzethaarden, moderne kachels en pelletketels.

3. De kwaliteit van het hout dat wordt gestookt en de manier waarop het toestel wordt gestookt (stookgedrag);

In de kwantitatieve analyse is gekeken naar het effect van slechtere emissiefactoren ten gevolge van variaties in het vermogen van het toestel, ouderdom, kwaliteit van de brandstof en het stookgedrag.

4. De manier waarop het toestel is geïnstalleerd en dan met name de hoogte van de schoorsteen;

De wijze waarop de rookgassen worden afgevoerd, is medebepalend voor de belasting in de directe omgeving. Zo kan een snelle verdunning van rookgassen in de omgeving worden belemmerd door de aanwezigheid van een regenkap, aanwezigheid van nabije bebouwing of bij bijvoorbeeld een horizontale afvoer in de gevel. In de analyse is onderzocht wat het effect is van verhoging van de uitmondingsopening van toestellen.

5. Het aantal uren per jaar dat het toestel gestookt wordt en de weersomstandigheden tijdens het stoken;

De aangenomen stookduur van de verschillende toestellen is overeenkomstig de waarden die in het TNO Parkmodel [47] en in 3.1 worden gehanteerd. De stookuren er toestel zijn random verdeeld over de uren gedurende het stookseizoen (oktober t/m april). Vervolgens is ook gekeken naar de 10 uur waarop de hoogste concentraties optreden, het zogenaamde 99,9 percentiel. Hiermee wordt het effect van de weersomstandigheden in kaart gebracht.

6. De ligging van het toestel ten opzichte van omliggende woningen;

De locatie van de woning bepaalt de reeds aanwezige achtergrondconcentratie, de terreinruwheid en de belastende windrichting. Er is in de berekeningen uitgegaan van een stedelijke omgeving (terreinruwheid = 1m) in het midden van Nederland.

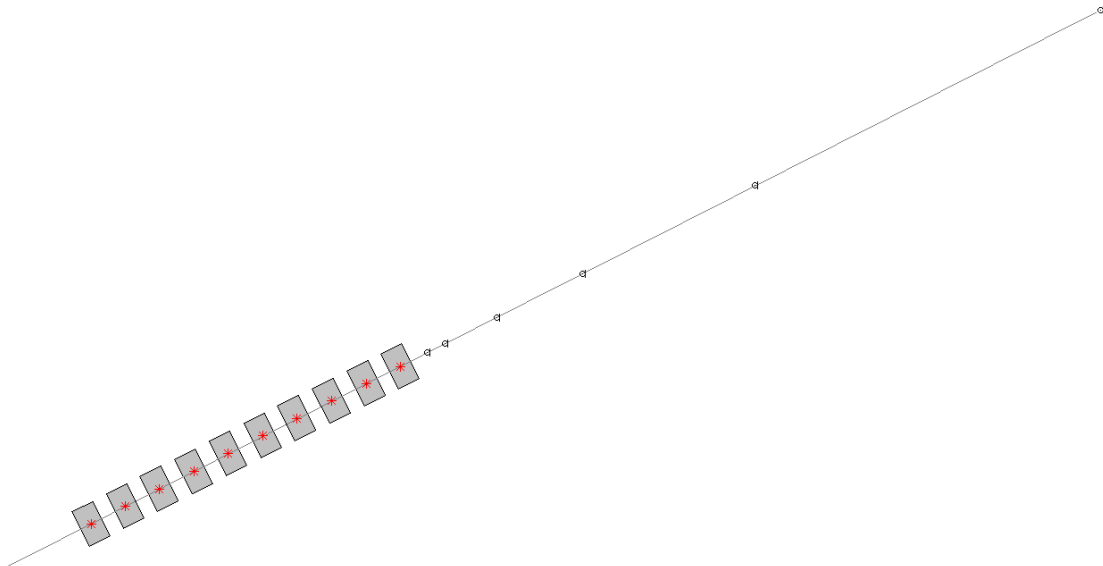
De belastende woningen zijn gesitueerd in de dominante windrichting (zuidwest-west) benedenwinds van het toestel. Er is gerekend op afstanden van 5 – 200m van de schoorsteen van het toestel.

7. De aanwezigheid van meerdere toestellen in de omgeving.

De cumulatie-effecten zijn op 2 manieren in beeld gebracht.

Allereerst is de situatie onderzocht waarbij 1 tot 4 toestellen worden gestookt in een cirkel met een diameter van 10 m rondom een woning. Bij deze situatie wordt de woning bij alle windrichtingen belast, maar wel steeds door een toestel tegelijkertijd.

Vervolgens zijn 1 tot 10 toestellen in een lijn in de dominante windrichting, bovenwinds van de dominante windrichting gesitueerd. De schoorstenen van deze toestellen zijn 10m van elkaar geplaatst. Bij deze situatie vindt er alleen blootstelling plaats als de wind uit de dominante windrichting komt, waarbij de woning tegelijkertijd door meerdere toestellen belast wordt. De berekeningen zijn uitgevoerd voor afstanden tussen 5m en 200m van de schoorsteen van het toestel. Deze modelsituatie is schematisch weergegeven in Figuur 7.1.

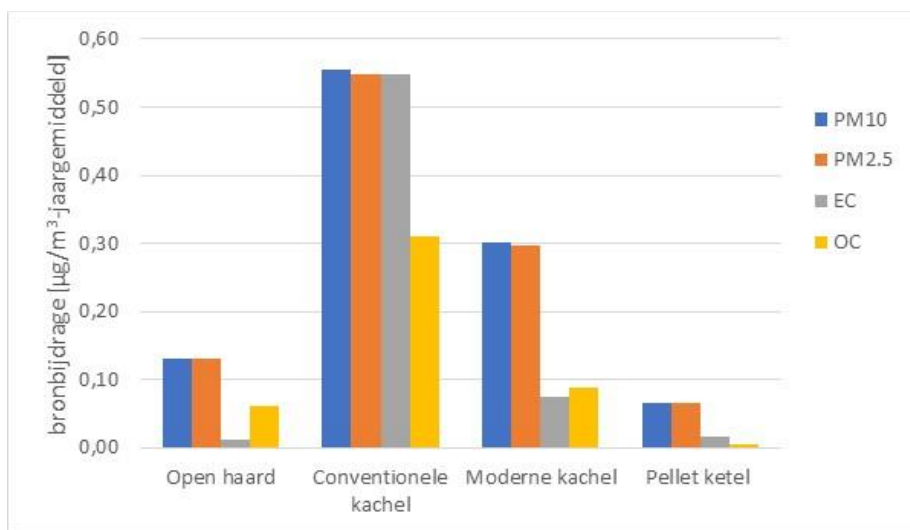


Figuur 7.1 Schematische weergave van de tweede situatie waarbij de stooktoestellen (grijze vierkanten) en de waarnemers in het rekenmodel zijn georiënteerd. Het verste waarnemer ligt op 200m van het eerste toestel.

De modelberekeningen zijn uitgevoerd met het Nieuw Nationaal Model, softwarepakket GeoMilieu nieuwste release. Dit model rekent met uurgemiddelde meteorologische gegevens over een periode 10 jaar (1995-2004). Met het model worden de jaargemiddelde concentraties berekend. Tevens wordt gekeken naar de 10 uren waarop de hoogste concentraties optreden, de zogenaamde 99,9 percentiel waarde. Deze hangen samen met de meteorologische omstandigheden tijdens de uren dat gestookt wordt.

7.2.2 Fijnstofbelasting bij één toestel

De bijdrage van diverse vormen van houtstook aan de lokale fijnstof achtergrondconcentratie is onderzocht voor verschillende situaties. In Figuur 7.2 wordt weergegeven wat de impact is op de jaargemiddelde omgevingsconcentratie bij een woning welke is geplaatst op 5 m afstand van één kachel of ketel zoals beschreven in Figuur 7.1. De uitmondingsopening is bij alle vormen van particuliere houtstook gesitueerd op dakniveau. Bij industriële installaties is de emissiehoogte gezet op 6 m boven dakniveau.

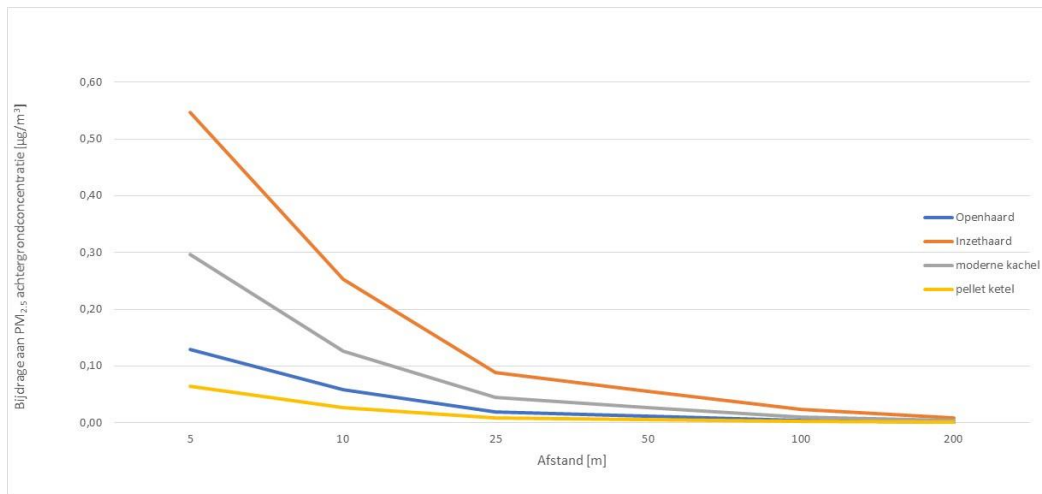


Figuur 7.2 Verhouding tussen de PM10, PM2.5, EC en OC fracties in de bijdrage van houtstook aan de lokale jaargemiddelde achtergrondconcentraties op 5 m afstand (typische houtstook)

Wanneer de uitkomst van deze berekeningen wordt vergeleken met de gemiddelde stedelijke achtergrondconcentraties⁷ volgt dat de bijdrage van particuliere toestellen aan de jaargemiddelde fijnstofconcentraties in alle gevallen relatief klein is. Dit kan grotendeels worden verklaard door de geringe stookduur van met name open haarden en conventionele kachels.

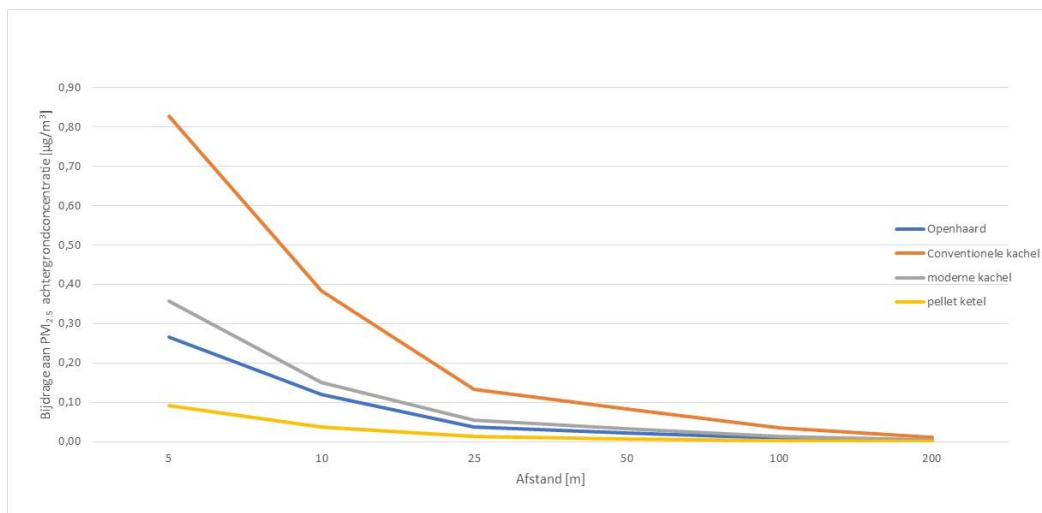
Terwijl Figuur 7.2 geldt op 5 meter afstand van de bron is in Figuur 7.3 Tabel 7.3 de afhankelijkheid van de horizontale afstand tot de schoorsteen weergegeven. Hieruit blijkt dat de bijdrage van aan de lokale jaargemiddelde concentratie PM_{2.5} snel afneemt met de afstand tot de horizontale schoorsteen van het toestel. In een situatie bij gemiddelde stedelijke achtergrondconcentraties is uitgesloten dat de wettelijke grenswaarden van 40 µg/m³ voor PM₁₀ en 25 µg/m³ voor PM_{2.5} enkel en alleen door toedoen van één houtgestookt toestel worden overschreden. Bij cumulatie van meerdere toestellen is dit anders, dit wordt in 7.2.3 onderzocht.

⁷ De gemiddelde stedelijke achtergrondconcentratie in Nederland bedraagt voor PM₁₀ 26 µg/m³ en van PM_{2.5} 18 µg/m³ [50]. Door luchtbeleid zetten we de weg in naar de WHO waarden (20 µg/m³ voor PM₁₀ en 10 µg/m³ voor PM_{2.5}).



Figuur 7.3 Afhangelijkheid van de afstand tot de bron aan de jaargemiddelde bijdrage aan lokale PM_{2.5} achtergrondconcentratie bij gemiddelde emissies van particuliere houtstook.

In voorgaande beschouwing is uitgegaan van typische emissies. In Figuur 7.4 is weergegeven wat de bijdrage van houtstook aan de lokale PM_{2.5} concentratie zou zijn als voor de lokale verwarmingstoestellen gerekend zou worden met de hoogste emissiefactoren, welke meer representatief zijn voor situaties met onvolledige verbranding. In de berekening is aangenomen dat tijdens gebruik deze slechte situatie zich continu zou voordoen tijdens de stook.

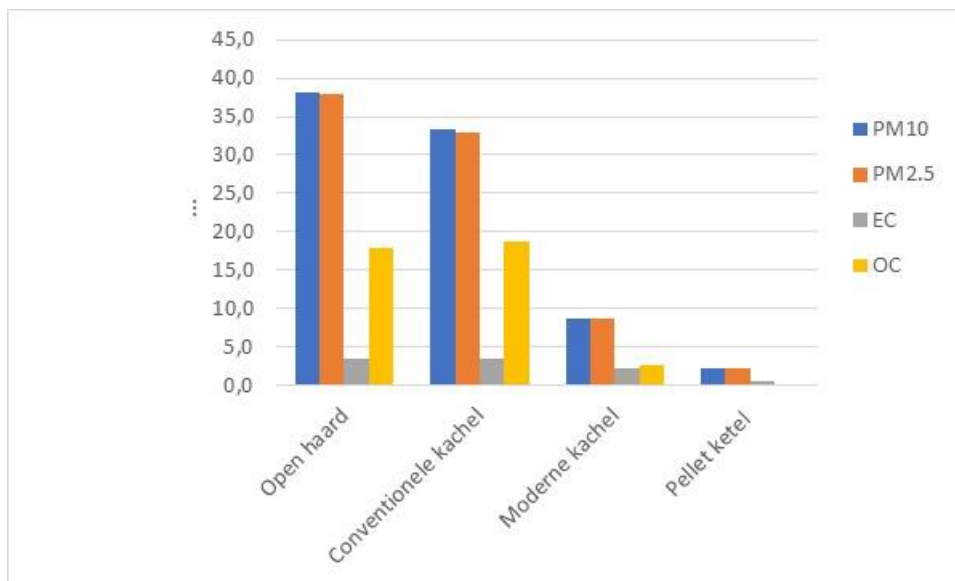


Figuur 7.4 Afhangelijkheid van de afstand tot de bron aan de bijdrage aan lokale PM_{2.5} achtergrondconcentratie bij maximale emissies van particuliere houtstook conform Vincente et. Al [103]



Ook in het pessimistische scenario van Figuur 7.4 (waar wordt aangenomen dat alleen maximale emissies optreden) blijkt dat de bijdrage van particuliere houtstook aan de jaargemiddelde omgevingsconcentraties gering is. Vooral voor open haarden en conventionele kachels treedt een fors verschil op tussen gemiddelde en maximale uitstoot, dit verschil is minder groot bij moderne kachels en pelletketels.

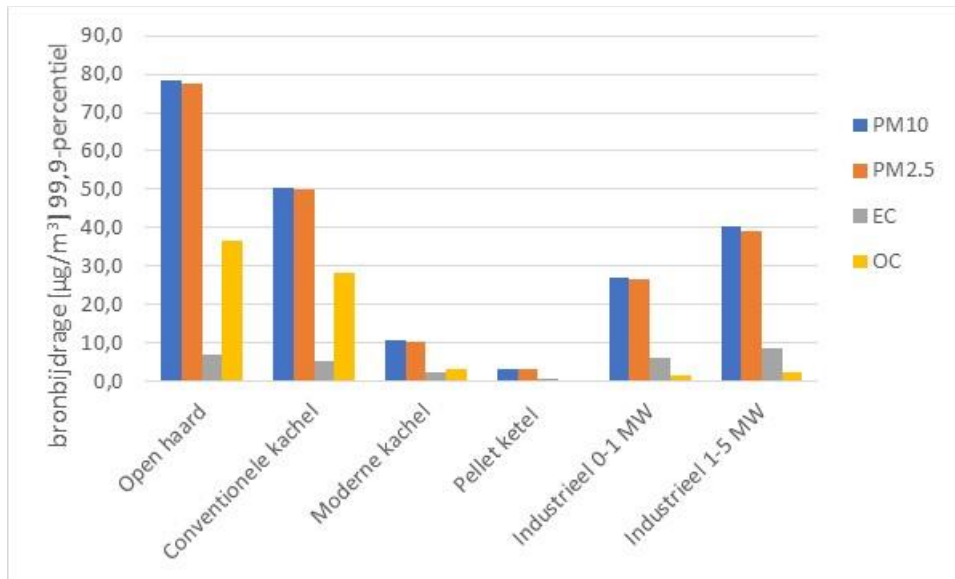
Door ongunstige weerscondities (temperatuursinversie, windstilte, etc.) kan de fijnstofbelasting per uur aanzienlijk hoger zijn dan de jaargemiddelde concentratie. De maximale fijnstofbelasting welke gedurende 10 uur in een jaar kan optreden – het zogenaamde 99,9 percentiel – is weergegeven in Figuur 7.5.



Figuur 7.5 De momentane bijdrage aan omgevingsconcentraties op 5 m afstand van PM₁₀, PM_{2.5}, EC en OC gedurende tien uren per jaar met de slechtste weersomstandigheden (µg/m³) bij gemiddelde particuliere houtstook.

De figuur laat zien dat door stoken tijdens slecht weer de bijdrage van met name open haarden en conventionele kachels aan lokale PM_{2.5} concentraties kan oplopen tot 33-38 µg/m³, waarvan 18 µg/m³ OC. In verhouding tot de jaargemiddelde achtergrondconcentratie in stedelijk gebied van 18 µg/m³ PM_{2.5} is dit een grote toename. De maximale bijdrage aan de lokale PM_{2.5} achtergrondconcentraties van moderne houtkachels tijdens ongunstige weersomstandigheden bedraagt 9 µg/m³ en van pelletketels 2 µg/m³.

Voorgaande berekeningen zijn gemaakt op basis van typische emissiefactoren. In Figuur 7.6 wordt uitgegaan van de maximale emissiefactoren volgens de literatuur (slecht gestookte toestellen), waarbij bovendien wordt gestookt bij slechte weersomstandigheden.



Figuur 7.6 De momentane bijdrage aan omgevingsconcentraties op 5 m afstand van PM₁₀, PM_{2.5}, EC en OC gedurende tien uren per jaar met de slechtste weersomstandigheden (µg/m³) indien bovendien wordt gerekend met de slechtste emissiefactoren.

Uit de figuur blijkt dat de bijdrage aan de lokale PM₁₀ en PM_{2.5} achtergrondconcentratie van open haarden en conventionele kachels gedurende de 10 hoogste uren bij onvolledige verbranding kan oplopen tot waarden tot resp. 80 en 50 µg/m³. Ook de bijdrage aan de OC concentratie is fors verhoogd tot 40 µg/m³. Dit terwijl de hoogste bijdrage van moderne kachels blijft tot ca 10 µg/m³ voor PM₁₀ en PM_{2.5} en 2 µg/m³ voor OC. De bijdragen van pelletketels is maximaal 3 µg/m³.

Een samenvatting van gegevens is weergegeven in Tabel 7.5.

Tabel 7.5 Bijdrage aan omgevingsconcentraties PM_{2.5} (µg/m³) op 5 m afstand door particuliere houtstook

Wijze van stoken	Weersomstandigheden	Zie figuur	Open haard	Conv. Kachel	Moderne kachel	Pellet-ketel	Opmerking
Typisch	Gemiddeld	7.2	0,1	0,5	0,3	0,06	Jaargemiddeld
Typisch	Slecht	7.5	37	33	8	2	Momentsaan
Slecht	Slecht	7.6	78	50	10	2	Momentsaan



7.2.3 Fijnstofbelasting van meerdere toestellen

In deze paragraaf wordt het effect van cumulatie door de aanwezigheid van meerdere houtgestookte toestellen in de omgeving onderzocht. Hierbij wordt uitsluitend gekeken naar het cumulerend effect bij dezelfde particuliere toestellen. Bedrijfsmatig gestookte ketelinstallaties zullen vrijwel nooit zo dicht bij elkaar liggen dat sprake zal zijn van een cumulerend effect op de lokale luchtkwaliteit⁸.

Er zijn twee cumulatiemodellen onderzocht, te weten:

1. Cumulatie in frequentie

Hierbij zijn meerdere toestellen aanwezig in een cirkel rondom de belaste woning. In deze situatie wordt de woning bij een bepaalde windrichting steeds door een ander toestel belast. Uit de modelberekeningen blijkt dat er geen optelling van fijnstofconcentraties bij de woning plaatsvindt als gevolg van meerdere toestellen. Wel wordt de woning bij de aanwezigheid van meerdere toestellen vaker belast, maar dan steeds door één toestel tegelijkertijd.

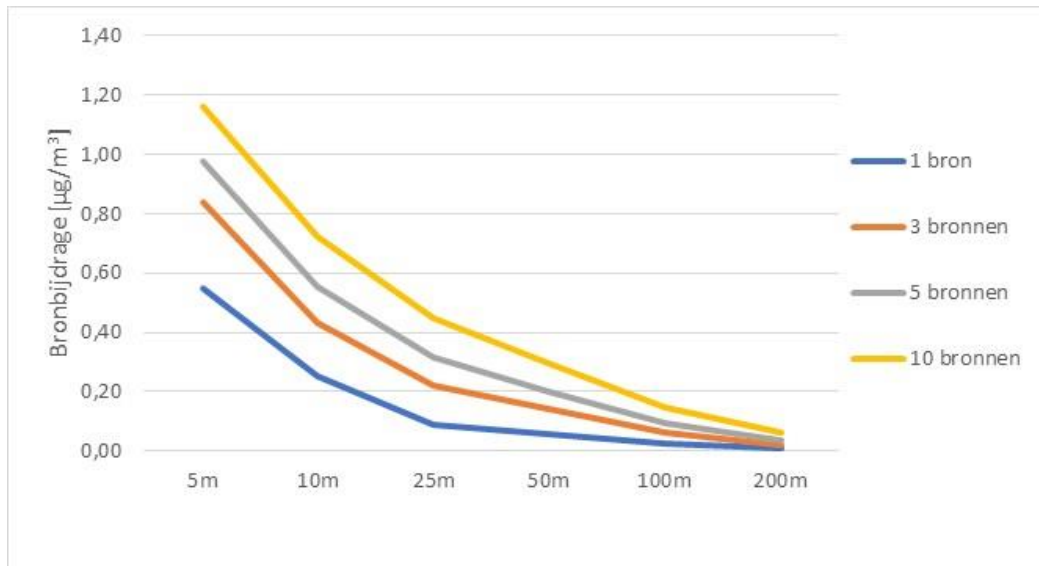
Opgemerkt wordt dat als bij één of meerdere toestellen sprake is van een verhoogde emissie, de belasting bij de woning natuurlijk hoger zal zijn als de wind waait vanuit een toestel met een hogere fijnstofemissie.

2. Cumulatie in concentratie

Hierbij bevinden zich meerdere toestellen in een lijn bovenwinds van de belaste woning. Deze emissiesituatie is weergegeven in Figuur 7.1. Bij deze vorm van cumulatie treedt er een verhoogde fijnstof belasting op als de belaste woning benedenwinds van de houtgestookte toestellen ligt. Er is hierbij sprake van een cumulatie van concentratie, hetgeen zorgt voor een verhoogde fijnstofconcentratie bij de belaste woning. Er is geen sprake van cumulatie in tijd.

In de berekeningen is er verder uitgegaan dat alle houtkachels conventioneel van ontwerp zijn. Figuur 7.7 toont bijdrage van een conventionele houtkachel aan de lokale PM_{2,5} concentraties bij belasting door 1 tot 10 toestellen in één lijn in de dominante windrichting.

⁸ Een mogelijke situatie waarbij dit wel kan optreden is bij dicht bij elkaar gelegen appartementencomplexen waarbij individueel wordt verketeld met een biomassagestookte installatie. In dit geval is het verstandig om middels verspreidingsberekeningen aan te tonen dat de veroorzaakte bijdrage aan fijnstofconcentraties acceptabel zijn.



Figuur 7.7 Bijdrage aan lokale jaargemiddelde PM_{2.5} concentratie door cumulatie van meerdere conventionele houtgestookte kachels in een lijn ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

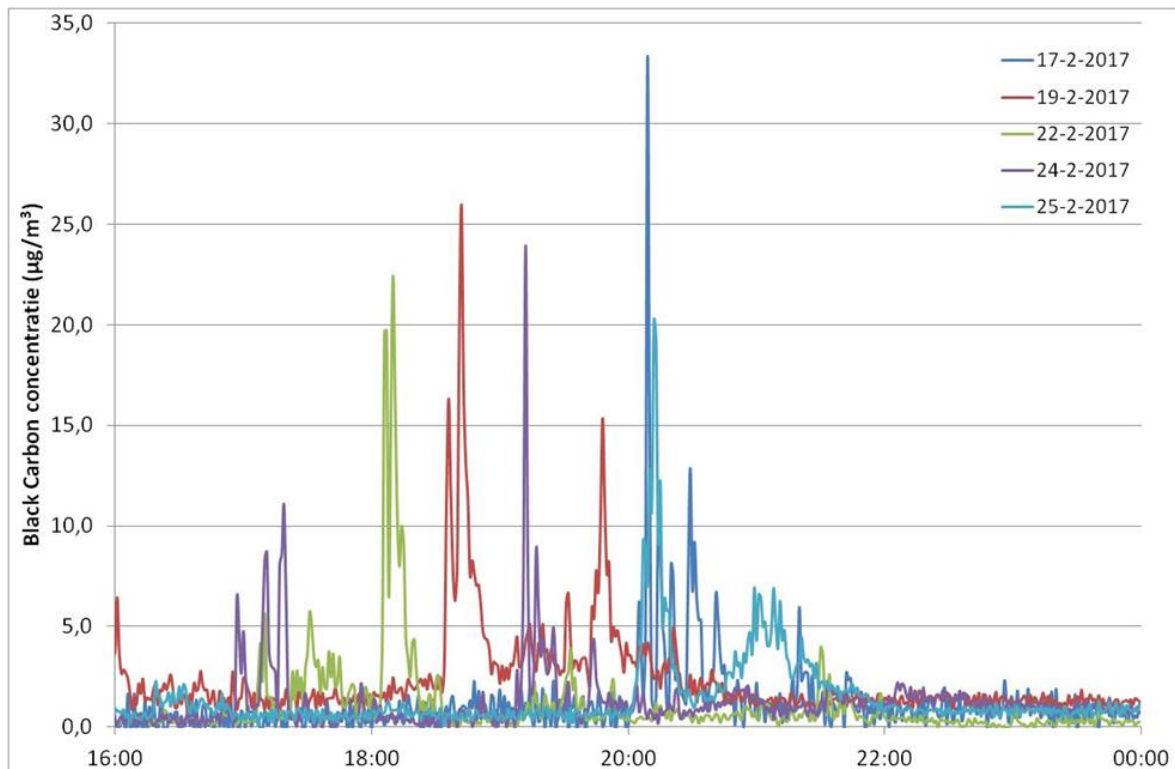
Bij één houtkachel wordt dezelfde lijn verkregen als de conventionele kachel in Figuur 7.3. Verder blijkt dat er een cumulatief effect optreedt, echter de jaargemiddelde bijdrage blijft beperkt.

Hierbij wordt opgemerkt dat de resulterende belasting sterk niet alleen door de cumulatie wordt bepaald maar ook door de aard van de toestellen en het stookgedrag van de gebruikers. In de berekeningen is uitgegaan van een typische gestookte, conventionele kachel. Indien bij cumulatie sprake is van één slecht gestookte conventionele kachel, dan wordt de fijnstofconcentratie bij de belaste woning gedomineerd door dit toestel. Het effect van cumulatie van “goed gestookte toestellen” is dan ook kleiner dan het effect van één slecht gestookt toestel (onvolledige verbranding).

7.2.4 Momentane fijnstofbelasting: een casus

Uit de hiervoor gepresenteerde berekeningen blijkt dat de bijdrage van houtgestookte haarden en kachel aan jaargemiddelde fijnstof concentraties op lokaal niveau beperkt is. Tevens is benoemd dat gedurende ongunstige meteorologische omstandigheden en/of onvolledige verbranding de uurgemiddelde concentraties aanzienlijk kunnen oplopen.

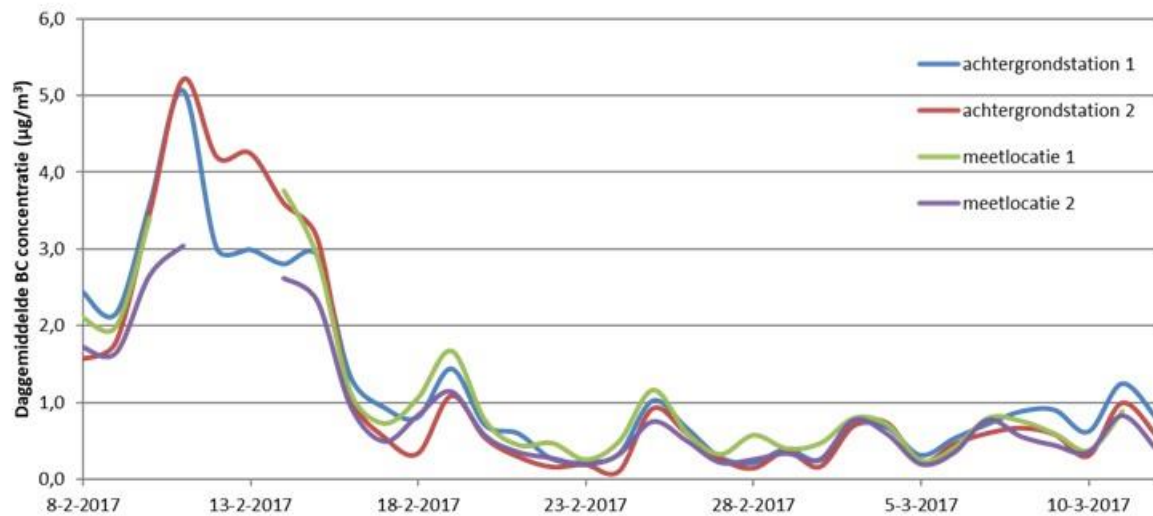
Buro Blauw heeft gedurende circa vier weken momentane black carbon concentraties gemeten in de directe omgeving van enkele houtkachels [18]. Figuur 7.8 toont de minuutgemiddelde concentraties gedurende enkele uren op vijf van de meetdagen. Hieruit blijkt dat concentraties kortstondig kunnen oplopen tot ruim $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dit is aanzienlijk hoger dan de achtergrondconcentratie ($1,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in stedelijke omgeving [50]).



Figuur 7.8 Minuutgemiddelde black carbon concentraties gedurende enkele dagen, gemeten in de omgeving van enkele houtkachels ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Figuur 7.9 toont de daggemiddelde concentraties voor dezelfde meetperiode, ter hoogte van 2 meetstations waar de concentraties getoond in Figuur 7.8 zijn gemeten, en twee regionale meetstations van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML).

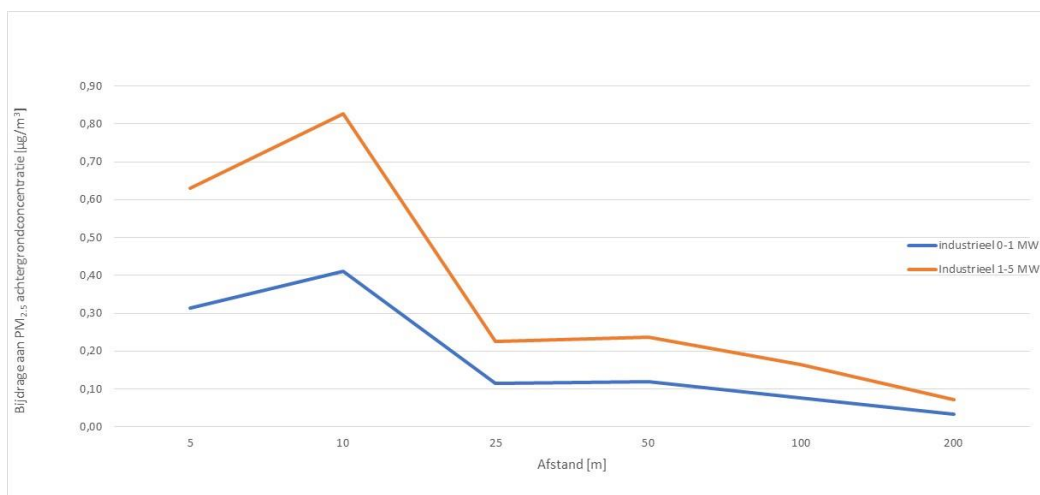
Uit de figuur blijkt dat het effect van de houtkachels op daggemiddeld niveau niet meer zichtbaar is. Dit illustreert dat, ondanks een beperkte jaargemiddelde bijdrage, houtkachels binnen een uur meerdere keren een sterk verhoogde concentraties in de omgeving kunnen veroorzaken. In die situaties kunnen mensen overlast ondervinden.



Figuur 7.9 Daggemiddelde black carbon concentraties, gemeten in de omgeving van enkele houtkachels en op regionale achtergrondstations van het LML ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

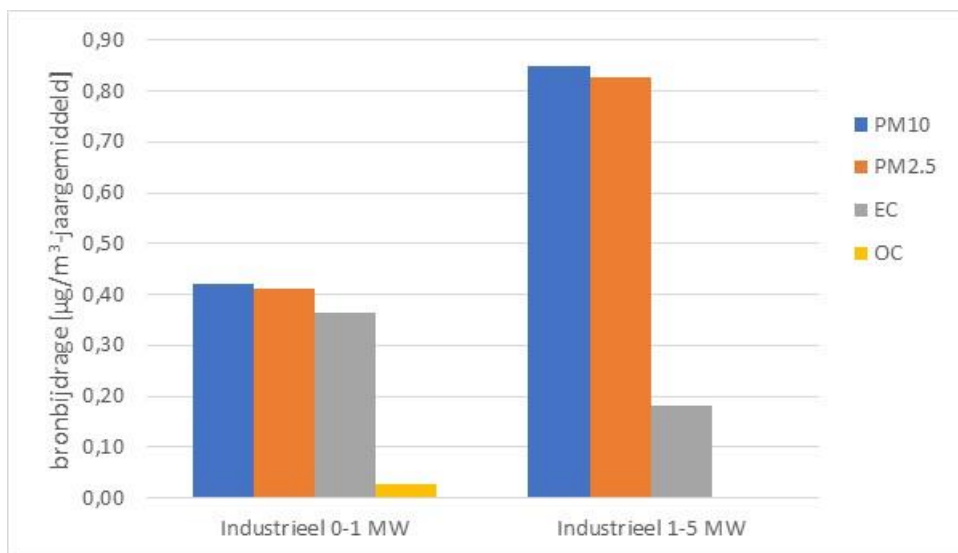
7.3 Impact van houtgestookte ketels bij bedrijven

Figuur 7.10 toont de bijdrage van houtgestookte ketels bij bedrijven tot 5 MW aan de lokale jaargemiddelde $\text{PM}_{2.5}$ achtergrondconcentratie op verschillende afstanden van de installatie. Bij de berekeningen is een schoorsteen van 6m boven dakniveau ingevoerd. Te zien is dat de maximale bijdrage optreedt op 10 meter afstand, waarbij de bijdrage aan de jaargemiddelde fijnstofconcentraties steeds minder is dan $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Figuur 7.10 Bijdrage van houtgestookte ketels tot 5 MW aan jaargemiddelde $\text{PM}_{2.5}$ achtergrondconcentraties op verschillende afstanden

Figuur 7.11 toont op deze afstand waarbij de maximale impact optreedt (10 meter) de bijdrage aan de lokale PM₁₀, PM_{2.5}, EC en OC achtergrondconcentraties⁹.

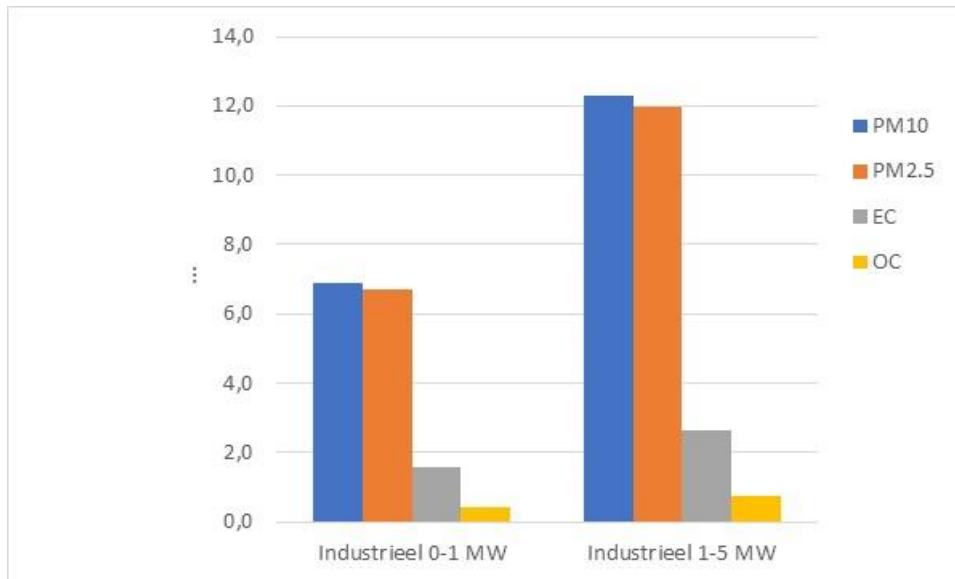


Figuur 7.11 Bijdrage aan jaargemiddelde fijnstofconcentraties op 10 m afstand door ketels bij bedrijven tot 5 MW op 10 m afstand.

De maximale fijnstofbelasting welke gedurende 10 uur bij ongunstige weersomstandigheden in een jaar kan optreden – het zogenaamde 99,9 percentiel – is weergegeven in Figuur 7.12. Hieruit blijkt dat de bijdrage op die momenten kan oplopen tot 7-12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ voor een grotere ketel.

Het is belangrijk te noemen dat deze installaties op basis van VNG handreiking Bedrijven en Milieuzonering [101] normaliter op een afstand van minimaal 100m van woonbebouwing moeten zijn gelegen. Op deze afstand is de berekende jaargemiddelde bijdrage aan de achtergrondconcentratie kleiner dan $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figuur 7.10), met piekbijdrage van 3-7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dit is vergelijkbaar met de impact van een moderne kachel op 5 m afstand (zie Tabel 7.5).

⁹ Deze bijdrage kan worden vergeleken met de gemiddelde stedelijke achtergrondconcentratie in Nederland ($26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ voor PM₁₀ en $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ voor PM_{2.5} [50]). De WHO streefwaarden zijn 20 resp. $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Figuur 7.12 Maximale bijdrage van ketels tot 5 MW bij bedrijven aan de momentane omgevingsconcentraties van PM₁₀, PM_{2.5}, EC en OC [µg/m³] welke 10 uur per jaar kan optreden op 10 meter afstand

Als een installatie in de woonwijk staat, bijvoorbeeld stadsverwarming of verwarming van een appartementencomplex, is de hoogte van de schoorsteen boven dakniveau van essentieel belang. In de situatie dat de rookgassen op dakniveau afgevoerd worden, bedraagt de maximale bijdrage aan de lokale concentratie 3 µg/m³. De maximale bijdrage tijdens ongunstige weersomstandigheden bedraagt dan ruim 25 µg/m³.

7.4 Geur

7.4.1 Karakterisering van de bronnen

Er is slechts een beperkte dataset beschikbaar over geuremissies van houtgestookte particuliere toestellen. Buro Blauw heeft eerder metingen uitgevoerd aan een open haard [99] en aan een pelletketel [19]. De resultaten van deze metingen en de daaruit afgeleide geuremissiefactoren worden samengevat in Tabel 7.6.

Tabel 7.6 Afleiding van geuremissiefactoren voor particulier houtgestookte toestellen uit door Buro Blauw uitgevoerde metingen

Toestel	Vermogen			Geuremissie	
	Nominaal	Brandstof		[Mou _E /h]	[Mou _E /MJ]
		[kW]	[kWth]		
Open haard	1,86	18,6	67	2,0	0,030
Pelletketel	20	24	86	1,0	0,011



De geur van houtstook is grotendeels afkomstig van vluchtige organische verbindingen in de rookgassen. Derhalve is de geuremissie van de overige toestellen ingeschat door correlatie met de emissiefactor van OC zoals weergegeven in Tabel 6.1. De resultaten worden samengevat in Tabel 7.7.

Tabel 7.7 Geuremissiefactoren voor particulier houtgestookte toestellen afgeleid uit metingen en het gehalte organisch koolstof in de rookgassen

Toestel	Emissiefactor OC	Geuremissiefactor	Geuremissie	Noot
	[g/GJ]	Mou _E /MJ	[Mou _E /h]	
Open haard	161	0,03	2,0	1
Conventionele kachel	194	0,04	1,5	2
Moderne kachel	52	0,01	0,2	2
Pelletketel	23	0,01	0,2	1

1: Zie Tabel 7.6

2: Geuremissiefactor = Emissiefactor OC (toestel)/Emissiefactor OC (Open haard)*Geuremissiefactor (Open haard).

Omdat er slechts weinig geuremissiemetingen aan houtgestookte toestellen voor particulieren beschikbaar zijn, is er ook geen kwantitatieve informatie over de geuremissies bij slecht stookgedrag / onvolledige verbranding. In een literatuuronderzoek van Buro Blauw uit 2009 [16] wordt een indicatieve waarde voor de geuremissie bij onvolledige verbranding gegeven. Deze is een factor 16 hoger dan de geuremissie bij volledige verbranding.

In dit onderzoek wordt aangenomen dat de verhouding tussen maximale en gemiddelde geuremissie kan worden afgeleid uit de gemiddelde en maximale OC-emissie volgens Tabel 7.4. De resultaten hiervan staan in Tabel 7.8.

Tabel 7.8 Berekening van de maximale geuremissie bij onvolledige verbranding op basis van de OC-emissies in Tabel 7.4.

Toestel	OC -emissie [g/h]		Verhouding	Geuremissie [Mou _E /h]	
	Gem	Max		Gem	Max
Open haard	4,9	52	10,6	2,0	21,3
Conventionele kachel	3,8	10	2,6	1,5	3,8
Moderne kachel	0,3	0,5	1,7	0,2	0,3
Pellet ketel	0,1	0,1	1,0	0,2	0,2



De gemiddelde geuremissies gelden voor optimaal stookgedrag bij volledige verbranding. De maximale geuremissies gelden bij onvolledige verbranding als gevolg van het aanmaken van het toestel of slecht stookgedrag.

Buro Blauw heeft geuremissiemetingen aan enkele houtgestookte ketels bij bedrijven uitgevoerd. De resultaten van deze metingen en de daaruit afgeleide geuremissiefactoren worden samengevat in Tabel 7.9.

Tabel 7.9 Afleiding van geuremissiefactoren uit uitgevoerde metingen bij houtgestookte ketels tot 5 MW.

Vermogen [kW]	Geuremissie [Mou _E /h]	Emissiefactor [Mou _E /MJ]	Referentie
350	2,2	0,002	[102]
500	10,7	0,006	[98]
0-1 MW – gemiddeld		0,004	gemiddeld
1250	5,7	0,001	[97]
1-5 MW – gemiddeld		0,001	

Ook voor industriële biomassaketels zijn er weinig gegevens beschikbaar over de geuremissies bij onvolledige verbranding, zoals bij opstart. In 2018 zijn door Buro Blauw emissiemetingen uitgevoerd aan een *outdoor wood boiler* [100]. Hierbij zijn metingen in de opstartfase en onder normaal bedrijf uitgevoerd. In de opstartfase was de geuremissie een factor 6 hoger dan onder normaal bedrijf. Met deze spreidingsfactor zal rekening gehouden worden om de geurbelasting tijdens de opstart van industriële houtgestookte installaties te beoordelen.

7.4.2 Beoordelingskader geurbelasting

Voor het beoordelen van geur voor particuliere biomassa gestookte kachels en pelletketels is geen wettelijk toetsingskader voorhanden. In het burgerlijk wetboek en het bouwbesluit zijn bepalingen opgenomen waarin staat dat toestellen geen onaantvaardbare geur- en rookhinder bij burens mogen veroorzaken. Echter deze bepalingen bieden weinig houvast voor het vaststellen van een toetsingskader voor geur. Voor de industriële installaties zijn de bepalingen in het Activiteitenbesluit van toepassing. In artikel 2.7a staat dat:

1. Indien bij een activiteit emissies naar de lucht plaatsvinden, wordt daarbij geurhinder bij geurgevoelige objecten voorkomen, dan wel voor zover dat niet mogelijk is wordt de geurhinder tot een aanvaardbaar niveau beperkt.
2. Het bevoegd gezag kan, indien het redelijk vermoeden bestaat dat niet aan het eerste lid wordt voldaan, besluiten dat een rapport van een geuronderzoek wordt overgelegd. Een geuronderzoek wordt uitgevoerd overeenkomstig de NTA 9065.



Voor het vaststellen van een aanvaardbaar hinderniveau wordt in dit rapport, voor zowel particuliere als voor industriële installaties aangesloten bij dit artikel van het Activiteitenbesluit. Het aanvaardbaar hinderniveau kan worden vastgesteld op basis van de hedonische waarde (onaangenaamheid) van de geur. De hedonische waarde is een maat voor de (on)aangenaamheid van een geur (van +4 – zeer aangenaam – tot -4 – zeer onaangenaam). Vanaf concentraties met een hedonische waarde van $H=-0,5$ kan geurhinder optreden. Boven een hedonische waarde van $H=-2$ is ernstige geurhinder waarschijnlijk. Buro Blauw heeft tweemaal hedonische analyses uitgevoerd aan de rookgassen van een houtkachel of open haard. De concentraties behorend bij $H=-0,5$, $H=-1$ en $H=-2$ waren gemiddeld respectievelijk 0,5, 0,85 en 4,5 ou_E/m^3 [19,99].

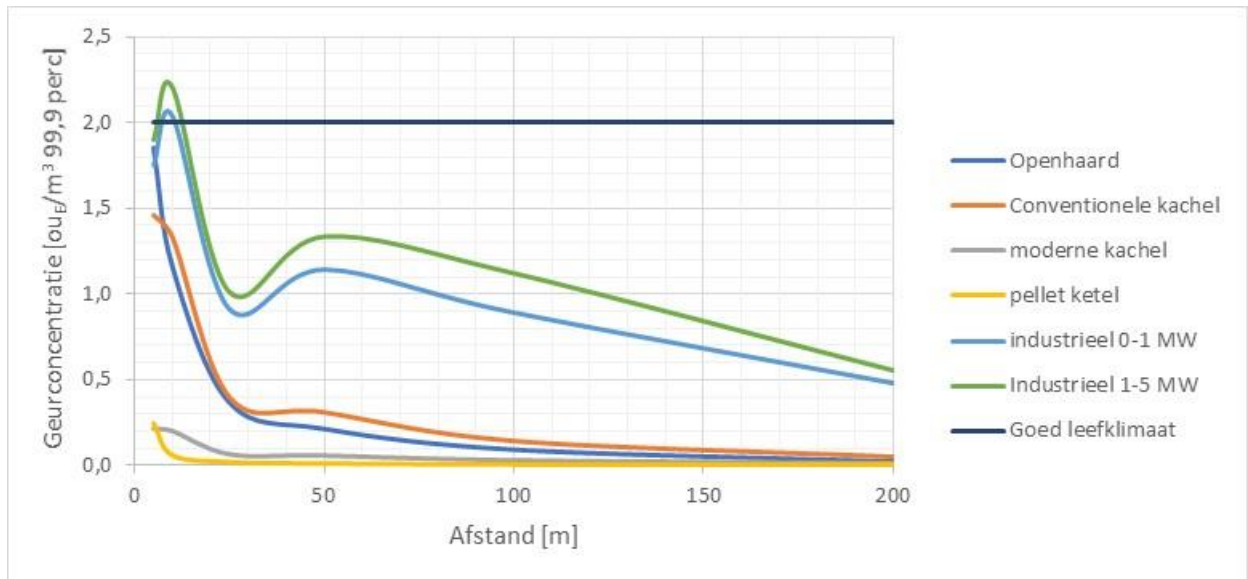
Bij continue bronnen wordt de geurbelasting standaard getoetst bij het 98-percentiel (de concentratie welke gedurende 98% van de tijd niet wordt overschreden). Houtgestookte toestellen en industriële installaties zijn slechts een beperkt aantal uren per jaar in gebruik. Voor bronnen met kortere emissieduur wordt daarom meestal aangesloten bij hogere percentielwaardes, zoals het 99,9-percentiel (de geurconcentratie die gedurende 0,1% van de tijd oftewel 10 uur per jaar overschreden wordt). Hierbij wordt een factor 4 hogere geurconcentratie als normering gebruikt ten opzichte van het 98-percentiel. Het bijbehorende beoordelingskader, gebaseerd op de hedonische waarde van de geur, wordt gegeven in Tabel 7.10.

Tabel 7.10 Beoordelingskader voor de blootstelling aan geur afkomstig van houtstook

Hedonische waarde	Geurconcentratie 98-percentiel [ou_E/m^3]	Geurconcentratie 99,9 percentiel [ou_E/m^3]	Woon- en leefklimaat voor geur
-½	0,5	2,0	Goed (geen tot weinig hinder)
-1	0,85	3,4	Matig (hinder)
-2	4,5	18,0	Onvoldoende (ernstige hinder)

7.4.3 Berekening geurbelasting bij één toestel

De berekende geurbelasting voor de verschillende toestellen bij goede verbranding is weergegeven in Figuur 7.13. In de figuur is tevens de grenswaarde van 2 ou_E/m^3 uit het beoordelingskader voor het woon- en leefklimaat voor geur weergegeven (Tabel 7.10).

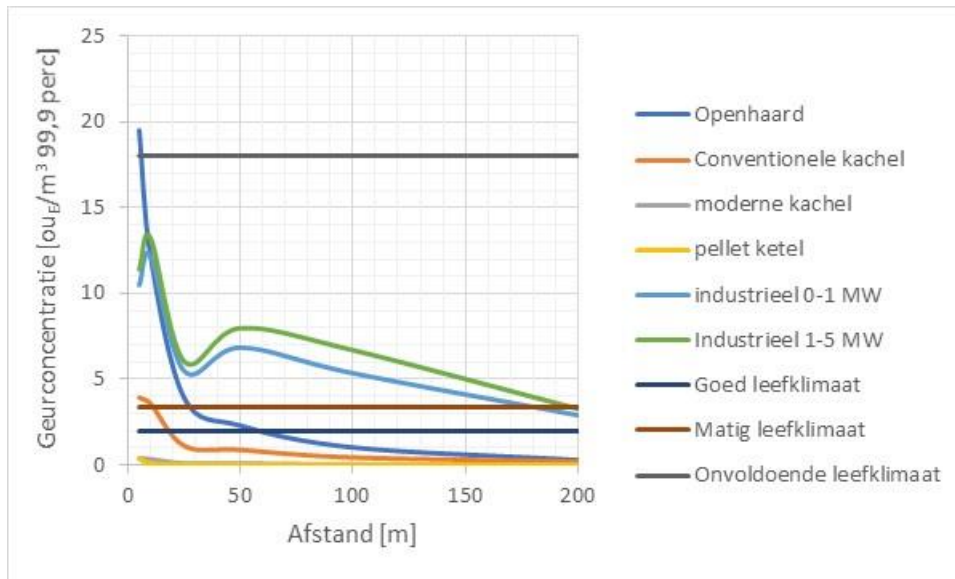


Figuur 7.13 Geurbelasting door houtgestookte toestellen bij goede verbranding

Uit Figuur 7.13 blijkt dat voor particuliere houtgestookte toestellen er normaliter sprake is van een goed woon- en leefklimaat voor geur. Voor bedrijfsmatig gestookte ketels is dit op afstanden groter dan 10m ook het geval. Met uitzondering van appartementencomplexen liggen deze installaties normaliter op minimaal 100m afstand van de woonbebouwing.

Opgemerkt wordt dat bij ieder toestel momenten kunnen voorkomen waarbij er tijdelijk geen sprake is van goede verbranding. Dit kan bijvoorbeeld optreden bij de start of het eind van een periode waarin wordt gestookt. Ook ontstaat onvolledige verbranding onder meer bij gesmoord stoken, een slecht gedimensioneerde kachel, onvoldoende gedroogd en gekloofd hout en gebruik van afvalstoffen. Het is daarom ook relevant om te kijken naar de berekende belasting bij onvolledige verbranding. Deze situatie is weergegeven in Figuur 7.14.

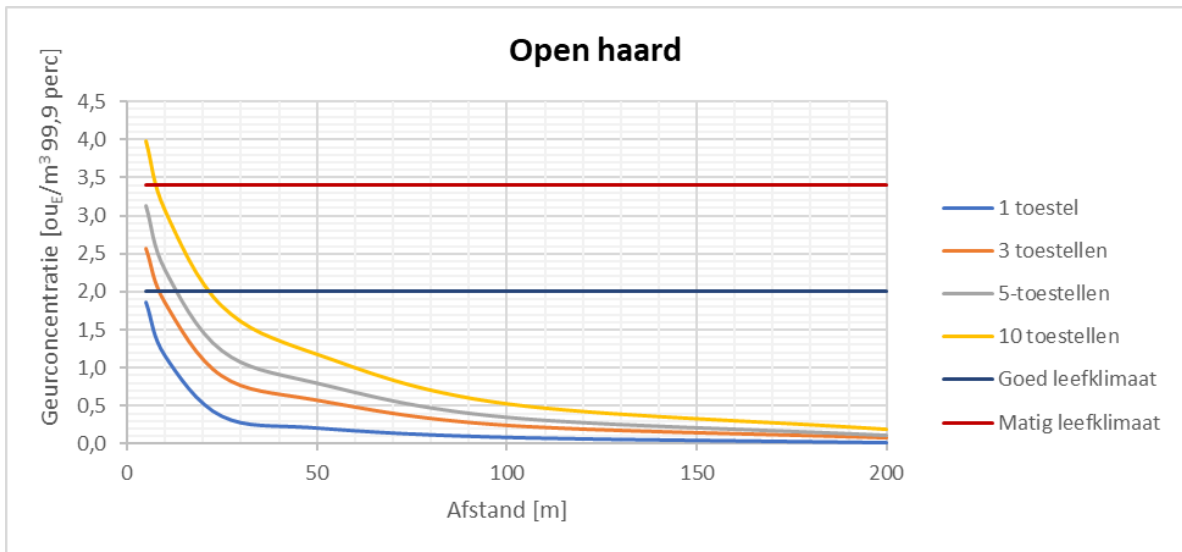
Uit de figuur blijkt dat reeds één open haard bij onvolledige verbranding dicht bij de bron een geurbelasting veroorzaakt welke resulteert in een onvoldoende woon- en leefklimaat. Ook conventionele kachels kunnen bij onvolledige verbranding, dicht bij de bron een matig woon- en leefklimaat veroorzaken. Bij bedrijfsmatig gestookte ketels kan bij de opstart kortstondig sprake zijn van onvolledige verbranding, waarbij in de directe omgeving tijdelijk sprake kan zijn van een matig woon- en leefklimaat voor geur. Wel moet worden genoemd dat dit voor houtgestookte ketels een uitzonderlijke situatie betreft terwijl dit voor particuliere toestellen regelmatig kan voorkomen in het geval van een slecht bedreven toestel.



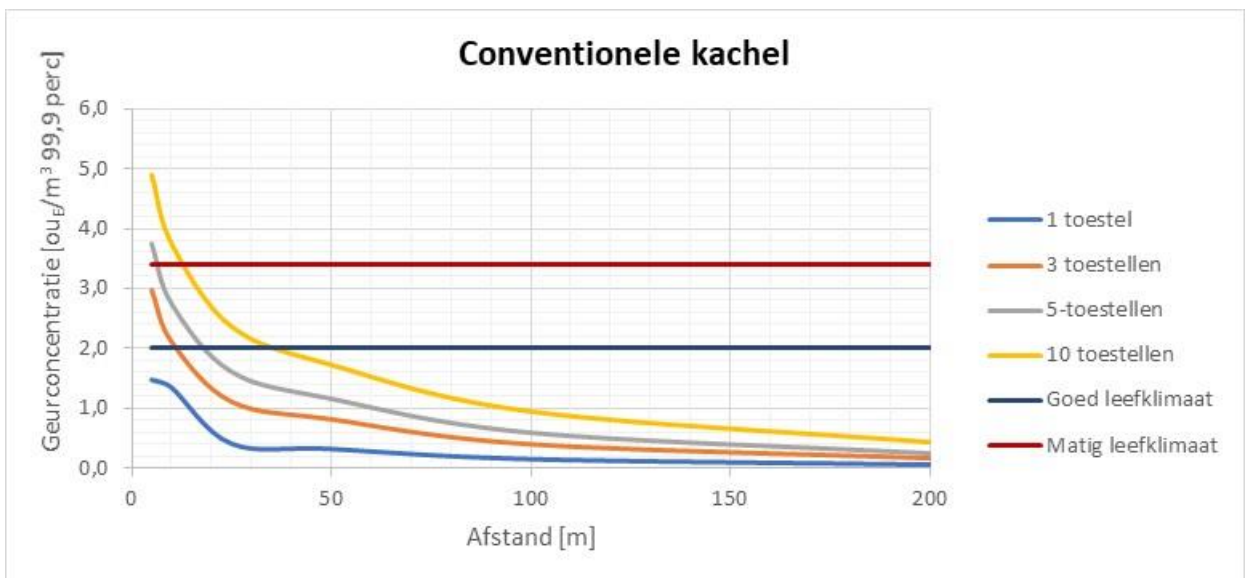
Figuur 7.14 Geurbelasting door houtgestookte toestellen bij onvolledige verbranding

7.4.4 Cumulatie van geur door meerdere toestellen

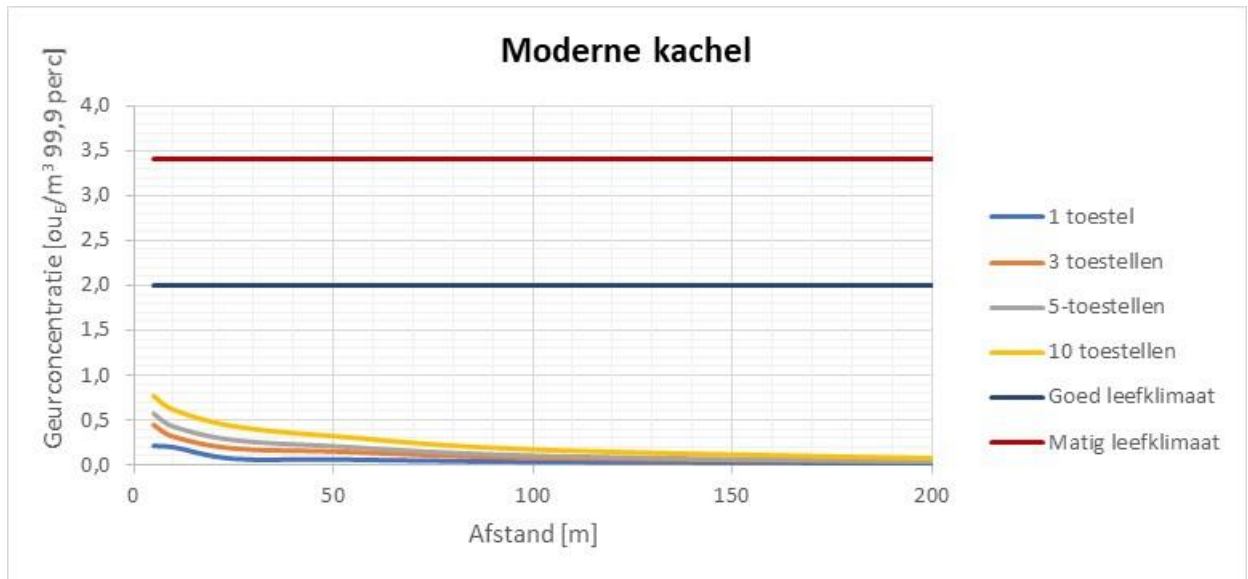
Het effect van cumulatie van geur door meerdere toestellen is weergegeven in Figuur 7.15 t/m Figuur 7.18. Dit betreft alleen particuliere toestellen. Cumulatie door de aanwezigheid van meer dan één bedrijfsmatige ketels zal in de praktijk niet voorkomen. De berekeningen zijn uitgevoerd voor de situatie waarbij bij alle toestellen sprake is van volledige verbranding. In Figuur 7.15 is al aangetoond dat één open haard bij onvolledige verbranding al voor een slecht woon- en leefklimaat voor geur kan zorgen.



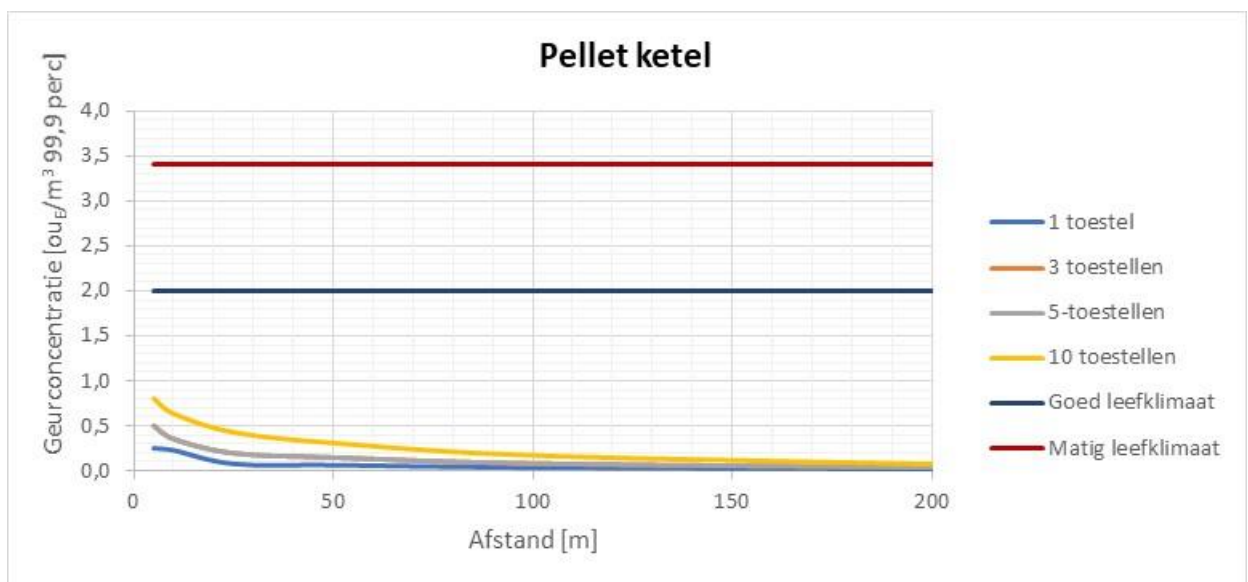
Figuur 7.15 Geurbelasting door meerdere open haarden bij volledige verbranding



Figuur 7.16 Geurbelasting door meerdere conventionele kachels bij volledige verbranding



Figuur 7.17 Geurbelasting door meerdere moderne kachels bij volledige verbranding



Figuur 7.18 Geurbelasting door meerdere pelletketels bij volledige verbranding

Uit de figuren blijkt dat de geurbelasting door de aanwezigheid van meerdere toestellen toeneemt. Bij open haarden en conventionele kachels leidt dit vanaf 5 toestellen tot een matig woon- en leefklimaat voor geur. Bij moderne kachels en pelletketels is zelfs bij de aanwezigheid van 10 toestellen sprake van een goed woon- en leefklimaat.



7.5 Effect van mitigerende maatregelen

Voor het verminderen van de impact van houtstook op de lokale luchtkwaliteit kunnen mitigerende maatregelen getroffen worden. Dit betreft:

1. Procesgeïntegreerde maatregelen: uit het voorgaande blijkt dat moderne houtgestookte toestellen een veel lagere impact hebben op de lokale luchtkwaliteit dan oudere toestellen. Door sanering van een oude conventionele kachel of open haarden zal de lokale fijnstofconcentratie ter plaatse aanzienlijk verlaagd worden. Goed stookgedrag heeft een grote invloed op emissies van fijnstof van houtgestookte toestellen. Dit treedt vooral op bij open haarden (factor 10 lagere emissies) en conventionele inzethaarden (factor 3). Indien oudere toestellen worden vervangen door nieuwe, dan heeft stookgedrag een beperkt effect op de emissies. Dit geldt met name voor pelletgestookte kachels welke automatisch geregeld worden. Voor industriële installaties zijn proces geïntegreerde maatregelen bovendien minder relevant, omdat de uitstoot wettelijk geregeld is via het Activiteitenbesluit en gebaseerd is op het toepassen van Best Beschikbare Technieken (BBT).
2. Nageschakelde maatregelen: diverse emissie reducerende maatregelen zijn beschreven in 5.3.4. De bijdrage van houtstook aan de lokale luchtkwaliteit verminderd evenredig met het emissie reducerend effect van deze maatregelen. Hierbij wordt opgemerkt dat energetisch rendement van het houtgestookte toestel afneemt bij toepassing van sommige emissie reducerende technieken, omdat deze technieken ook energie verbruiken. Daarnaast is een goede werking van verschillende technieken sterk afhankelijk van goed onderhoud en is toepassing van dergelijke technieken achteraf vaak niet goed mogelijk.
3. Verhogen uitmondingsopening. Het effect van verhoging van de uitmondingsopening met modelberekeningen onderzocht. Hieruit blijkt dat schoorsteenverhoging tot 2m boven dakniveau vaak weinig of geen positief effect heeft op de lokale luchtkwaliteit. Dit wordt veroorzaakt door de lage afgassnelheid van de rookgassen bij het verlaten van de schoorsteen. Hierdoor veroorzaakt de hoogte van het gebouw waarin het toestel staat wervels ter hoogte van de uitmondning van de schoorsteen, waardoor de rookgassen naar beneden geleid worden. Dit effect wordt vergroot door de aanwezigheid van een regenkap op de schoorsteen. Verhoging van de schoorsteen met 2m boven nokhoogte hoeft dit zogenaamde lijwervel-effect niet op te heffen, hiervoor is een grotere verhoging nodig.
4. Vergroten van de rookgassnelheid: Dit kan gerealiseerd worden door toepassen van een rookgasventilator, in combinatie met het verwijderen van de regenkap. Vergroten van de rookgassnelheid zorgt voor een virtuele schoorsteenverhoging en kan daarmee bijdragen aan het verminderen van het hiervoor beschreven lijzijde-effect. Hierbij wordt opgemerkt dat een rookgasventilator de energie-efficiëntie van het toestel door verbruik van elektriciteit zal verminderen.



7.6 Samenvatting met betrekking tot impact op lokale luchtkwaliteit

Uit de berekeningen volgt dat alle typen houtgestookte particuliere toestellen bij gemiddeld gebruik een verwaarloosbare bijdrage hebben aan de lokale jaargemiddelde achtergrondconcentraties. De reden hiervan is dat het aantal stookuren beperkt is. Ook wordt bij goede verbranding een goed woon- en leefklimaat voor geur berekend. Dit geldt ook bij cumulatie door de aanwezigheid van meerdere houtgestookte toestellen. Echter tijdens ongunstige weersomstandigheden kan de bijdrage van met name open haarden en conventionele inzethaarden fors oplopen tot meer dan $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ voor $\text{PM}_{2.5}$ en $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ voor OC. Uit Black Carbon metingen in de directe omgeving van houtkachels zijn momentane piekconcentraties gemeten welke kunnen oplopen tot boven $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dit illustreert dat, ondanks een beperkte jaargemiddelde bijdrage, open haarden en conventionele houtkachels binnen een uur meerdere keren sterk verhoogde concentraties in de omgeving kunnen veroorzaken. In die situaties kunnen mensen overlast ondervinden.

Bij ieder toestel kunnen meerdere momenten in een jaar voorkomen waarbij er geen sprake is van goede verbranding, zoals bij start en eind van stoken. De mate van goede verbranding is daarnaast sterk afhankelijk van stookgedrag en -materiaal. Vooral open haarden en conventionele kachels kunnen tijdens perioden van onvolledige verbranding / slecht stookgedrag een grote impact hebben op de lokale luchtkwaliteit. Voor open haarden bedraagt deze op korte afstanden $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en voor conventionele kachels $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Open haarden veroorzaken bij onvolledige verbranding dicht bij de bron een hoge geurbelasting, die als een onvoldoende woon- en leefklimaat gekwalificeerd wordt. Conventionele kachels kunnen bij onvolledige verbranding, dicht bij de bron een matig woon- en leefklimaat veroorzaken. De berekende bijdrage van moderne houtkachels en pellet ketels aan de lokale $\text{pm}_{2.5}$ concentraties bedragen bij onvolledige verbranding $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ jaargemiddeld en $2-9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tijdens stookuren. Voor de geuremissie van moderne houtkachels en pelletketels zijn weinig meetgegevens beschikbaar, hier is nader praktisch onderzoek gewenst. Met een indirect bepaalde geuremissie wordt voor deze toestellen zelfs bij onvolledige verbranding en bij cumulatie door 10 toestellen een lage geurbelasting in de omgeving berekend.

Industriële houtgestookte installaties bevinden zich normaliter op een afstand van 100m of meer van de woonbebouwing. Op deze afstand is de bijdrage van deze installaties aan de jaargemiddelde fijnstof achtergrondconcentratie kleiner dan $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en tijdens stookuren $2 \text{ à } 3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Op deze afstand wordt een goed woon- en leefklimaat voor geur berekend.

De modelberekeningen laten zien dat een houtgestookte ketelinstallatie van 2,8 MW een factor 3 lagere impact op de jaargemiddelde fijnstof concentratie op de aanbevolen afstand van 100 m heeft als een enkele conventionele houtkachel op 10 meter. In het voorbeeld is de jaarlijkse warmteproductie van de ketel echter wel 2600 maal hoger dan dat van de kachel. De emissiefactor aan organisch koolstof in fijnstof kan als maatgevend worden



verondersteld voor de gezondheidseffecten, deze is in dit voorbeeld een ordegrootte 25 maal hoger voor de conventionele houtkachel ten opzichte van de houtgestookte ketel.

Als een houtgestookte installatie in de woonwijk staat, bijvoorbeeld bij stadsverwarming of verwarming van een appartementencomplex, is de hoogte van de schoorsteen boven dakniveau van essentieel belang. In de situatie dat de rookgassen op dakniveau afgevoerd worden, bedraagt de maximale bijdrage aan de lokale jaargemiddeldeconcentratie $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. De maximale bijdrage tijdens ongunstige weersomstandigheden bedraagt dan ruim $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Voor het verminderen van de fijnstofbelasting en geuroverlast veroorzaakt door houtstook is de vervanging van open haarden en conventionele inzethaarden door moderne toestellen een effectieve maatregel. Ook is aandacht voor goed stookgedrag een effectieve maatregel voor het beperken van de gezondheidseffecten en overlast door houtstook.

Bovengenoemde conclusies zijn gebaseerd op modelberekeningen in een gestandaardiseerde setting. De daadwerkelijke situatie is afhankelijk van een veelheid aan factoren. Hierdoor is iedere situatie rondom particuliere houtstook uniek en kan deze niet in algemene termen beschreven of beoordeeld worden. De conclusies zijn relatief en zijn niet overdrachtelijk voor een specifieke situatie.



8 Mogelijkheden om overlast tegen te gaan

Dit kennisdocument laat zien dat verbranding van biomassa nu al een grote bijdrage levert aan de opwekking van duurzame energie in Nederland, maar dat het wel tot overlast kan leiden indien er gebruik wordt gemaakt van slecht functionerende of bedreven kachels of ketels welke niet goed zijn geplaatst.

8.1 Toolkit voor stokers ter voorkoming van overlast

Om hinder tegen te gaan worden door verschillende instanties stookadviezen gegeven. De toolkit 'Houtstook door particulieren – Hoe voorkom je overlast' geeft de volgende concrete adviezen aan stokers [2]:

1. **Zorg voor de juiste grootte van uw kachel in verhouding tot de ruimte die u wilt verwarmen.** In veel gevallen heeft een kachel een te grote capaciteit. Het wordt dan al snel te warm tijdens het stoken, waardoor u het vuur gaat temperen (smoren). Hierdoor komen er veel meer schadelijke stoffen vrij omdat sprake is van onvolledige verbranding. Op internet zijn verschillende sites te vinden met een rekentool of een grafiek waarmee u de benodigde capaciteit kunt berekenen, maar het is beter om hiervoor een specialist in te schakelen. Deze specialist kan uw situatie als geheel beoordelen en u adviseren.
2. **Laat uw schoorsteen en rookkanaal goed afstemmen op uw haard of kachel.** Een schoorsteen moet voldoen aan de daaraan gestelde eisen in het bouwbesluit. Want met een goed afgestemde en geïsoleerde schoorsteen en rookkanaal worden de rookgassen op de juiste manier afgevoerd. Dit is belangrijk voor uw eigen gezondheid en voor het voorkomen van schoorsteenbranden. Laat een installateur bepalen of uw schoorsteen en rookkanaal geschikt is. Een rookkanaal dat te kort is, of dicht in de buurt van omliggende panden is aangebracht, kan een oorzaak zijn van overlast omdat de houtrook zich niet goed kan verspreiden. Ook een regenkap op het rookkanaal kan de uitstroom van de rookgassen belemmeren en een reden zijn voor een slechte verspreiding.
3. **Laat minstens één keer paar jaar uw schoorsteen vegen door een erkend vakman.** Regelmatig uw schoorsteen laten vegen voorkomt problemen, bijvoorbeeld een schoorsteenbrand met gevaar voor stoker en omwonenden.
4. **Maak een houtvuur aan met aanmaakblokjes en kleine houtjes.** Het vuur aanmaken met brandbare vloeistoffen (bijvoorbeeld spiritus) is uit den boze. Een goede methode is om te beginnen met dik hout op de as, daarop losse houtjes en aanmaakblokjes en dit aan te steken. Dit is de zogenaamde Zwitserse methode. Op internet zijn instructiefilmpjes te vinden. Volg de vulinstructies van de kachelleverancier of fabrikant. Stapel het hout losjes, zodat de lucht er goed bij kan.
5. **Stook alleen droog, onbehandeld hout.** Alleen gekloofd hout, dat minimaal twee jaar buiten onder een afdak te drogen heeft gelegen en niet te dik is (maximaal 7 cm), is geschikt voor uw open haard of houtkachel. U herkent droog hout aan scheuren en loszittende schors. Het vochtpercentage moet kleiner dan 20% zijn en hiervoor zijn



eenvoudige meters in de handel. Het stoken van nat hout zorgt voor onvolledige verbranding. Bovendien geeft nat hout veel minder warmte af en leidt het stoken van nat hout eerder tot roetaanslag en schoorsteenbranden. Stook geen hout dat geverfd, gebeitst of geïmpregneerd is. Het verbranden van afval is in Nederland wettelijk verboden. Hiertoe behoren materialen zoals sloophout, multiplex en spaanplaat, plastic, papier, karton en textiel; zij zijn niet geschikt. Bij verbranding van dergelijke materialen kunnen (zeer) schadelijke stoffen vrijkomen, zoals chloorverbindingen, PAK's en zware metalen.

6. **Stook niet bij windstil of mistig weer.** Door gebrek aan wind of bij mist blijven rookgassen om het huis hangen. Dit is schadelijk voor uw gezondheid en voor die van uw burens. Een windkracht van minder dan 2 op de schaal van Beaufort wordt beschouwd als windstil weer.
7. **Zorg voor voldoende frisse lucht in de ruimte waar gestookt wordt.** Bij het stoken komen schadelijke stoffen vrij. Bovendien verbruikt een open haard veel zuurstof. Een houtkachel verbruikt veel minder zuurstof dan een open haard. Ventileer de woning extra door een raam of deur op een kier te zetten tijdens het stoken.
8. **Zorg voor volledige luchttoevoer.** Zet de uitlaatklep naar de schoorsteen volledig open als u begint met stoken. Goede houtkachels zijn voorzien van regelbare kleppen, waarmee de luchttoevoer kan worden geregeld. Zet ook deze kleppen volledig open tijdens het stoken. Als het vuur te heet wordt, voeg dan minder brandstof toe. Verminder dan niet de luchttoevoer. Deze omstandigheden zijn met een open haard niet te realiseren.
9. **Controleer regelmatig of u goed stookt.** U kunt eenvoudig zelf controleren of u goed stookt. Loop even naar buiten om de kleur van de rook uit uw schoorsteen te controleren. Kleurloze rook wijst op een goede verbranding. Gekleurde rook duidt er op dat de verbranding slecht is. De vlam in de houtkachel moet heldergeel zijn en niet onrustig flakkeren. Een oranje, onregelmatige vlam duidt op een onvolledige verbranding. Verbeter bij donkere rook of oranje vlammen de luchttoevoer.
10. **Laat een houtvuur vanzelf uitbranden.** Als u een houtvuur tempert door de luchttoevoer te verminderen, komen veel schadelijke stoffen vrij. Laat het vuur daarom vanzelf uitbranden.

8.2 Advies Platform Houtrook en Gezondheid

Vooraf bij houtgestookte kachels zijn er veel voorbeelden waarbij sprake is van overlast. Binnen het Platform Houtrook en Gezondheid werken partijen en maatschappelijke organisaties met verschillende achtergrond en expertises al samen aan oplossingen om overlast en gezondheidsschade als gevolg van het stoken van hout en andere vaste brandstoffen door particulieren, te voorkomen dan wel te verminderen. Op 13 maart 2018 heeft het Platform Houtrook en Gezondheid advies uitgebracht aan de staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat om de overlast van houtrook effectief te kunnen beperken. Er zijn 15 adviezen gegeven, gebundeld in drie thema's:



Kennis en Normering

- Het ontwikkelen van een nieuwe meetmethode om overlast beter te kunnen vaststellen
- Handhaving mogelijk maken in probleemsituaties
- Eisen stellen aan de maximale geurconcentratie
- Stookverbod dichtbevolkt gebied
- Pilots bij gemeenten

Gedrag, Communicatie en Beleid

- Voorlichting algemeen publiek*
- Voorlichting stoker*
- Stookwaarschuwing meteo/luvo
- lokale regelgeving
- Stookcursus

Toestellen en Brandstof.

- Ecodesign eisen voor kachels nu al introduceren
- Rookafvoer verspreiding
- Alleen plaatsing kachels door erkende installateur
- Schoon en droog hout
- Installatie keuren en vegen

Onderhavige rapportage laat op verschillende plaatsen de positieve effecten van deze aanbevelingen zien.

Het advies van het Platform Houtrook en Gezondheid beperkt zich tot sfeerverwarming en bevat geen specifieke aanbevelingen voor houtgestookte ketels. Op basis van de analyse in hoofdstuk 7 kan worden gesteld dat deze focus op slecht bedreven en oudere kachels terecht is omdat houtgestookte ketels welke vallen onder het Activiteitenbesluit en tenminste 100 m vanaf de meest dichtbijgelegen bebouwing zijn gelegen, niet zouden moeten leiden tot significante aantasting van de luchtkwaliteit (zowel voor fijnstof concentraties als geur).



9 Referenties

1. Activiteitenbesluit milieubeheer. <http://wetten.overheid.nl/BWBR0022762/2018-01-01>
2. Anzion C., Dönszelmann C., Houtstook door particulieren, hoe voorkom je overlast?, Toolkit Houtstook, Ministerie van I&M, 2014.
3. Asdad Anderson, J., J. Thundiyl, and A. Stolbach, Clearing the Air: A Review of the Effects of Particulate Matter Air Pollution on Human Health. *Journal of Medical Toxicology*, 2012. 8(2): p. 166-175
4. Azaaj I., Visscher J., Mulder S., Houtstoken: Lust of last, Motivaction, 2015
5. Bäfver, L.; Leckner, B.; Tullin, C.; Berntsen, M.: Particle emissions from pellets stoves and modern and old-type wood stoves, *Biomass and Bioenergy* 35 (2011) 3648–3655
6. Baxter, L., Biomass impacts on SCR catalyst performance, IEA Bioenergy Task 32, 2007
7. Besluit niet in betekende mate bijdragen (luchtkwaliteitseisen). <http://wetten.overheid.nl/BWBR0022815/2012-06-20>
8. Brandelet B., Rose C., Rogaume, C., Rogaume, Y., Impact of ignition technique on total emissions of a firewood stove, *Biomass and Bioenergy* 108 (2018) 15–24
9. Bruin, D. de, Visser M., Panelonderzoek Houtrook, Gemeente Amersfoort, 2017
10. BUWAL, Dioxin- und PAK-Emissionen der privaten Abfallverbrennung, Umweltmaterialien nr 172, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern, 2003
11. Carlon, E., Schwarz, M., Load cycle tests for biomass boilers, *Bioenergy 2020+*, presented at IEA Bioenergy Task 32 workshop at Central European Biomass Conference, Jan 2017
12. CBS, Hernieuwbare Energie in Nederland 2016, 2017
13. CBS, Houtverbruik huishoudens WoON-onderzoek 2012, webartikel 2013
14. CBS, Maatwerktabel houtketels voor warmte bij bedrijven eind 2016, 2017
15. CLO, 2018, Geurhinder per bron 2011, uit Compendium voor de Leefomgeving, <http://www.clo.nl/indicatoren/nl0290-geurhinder-per-bron>
16. De Bree, F.B.H.: Effecten luchtemissies houtkachels, sfeerhaarden en vuurkorven. Literatuurstudie. Buro Blauw rapport nummer:BL2009.4503.01-V03, september 2009
17. Denier van der Gon H.A.C., Bergström R., Fountoukis C., Johansson C., Pandis S.N. Simpson D., Visschedijk J.H., Particulate emissions from residential wood combustion in Europe – revised estimates and an evaluation, *Atmos. Chem. Phys.*, 15, 6503–6519, 2015
18. Dingemans J.D.. Monitoring overlast houtkachels, Zutphen. Metingen van black carbon concentraties bij 2 woningen. Rapport nr. BL2017.8340.02-V01 van juli 2017
19. Du Buy, F.J.: Luchtonderzoek nabij een houtkachel in Siebengewald. Buro Blauw, rapport nummer:BL2012.6333.02-V01, augustus 2012
20. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, zie <http://efdb.apps.eea.europa.eu>
21. Emissieregistratie (www.emissieregistratie.nl)
22. EPA, Measurement of the dioxin emission from selected secondary sources, Environmental Project No. 649, Danish EPA, 2001



23. European Commission, Commission Regulation Implementing Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for solid fuel boilers. Brussels: European Commission, 2015.
24. European Commission, Commission Regulation Implementing Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for solid fuel local space heaters (Ecodesign Lot 20 Solid Fuel Local Space Heaters). Brussels: European Commission, 2015
25. European Commission, Directive (EU) 2016/2284 of the European Parliament and of the Council of 14 December 2016 on the reduction of national emissions of certain atmospheric pollutants, amending Directive 2003/35/EC and repealing Directive 2001/81/EC, 2016
26. Fachinger, F., Drewnick, F., Giere, R., Borrmann, S., How the user can influence particulate emissions from residential wood and pellet stoves: Emission factors for different fuels and burning conditions, Atmospheric Environment 158, June 2017, Pages 216-226
27. Felber, D., Luftverschmutzung und Gesundheit. Übersicht zu den Auswirkungen, in Umwelt-Wissen Nr. 1425: 15 S. 2014, Bundesamt für Umwelt, Bern
28. Fong, K.; Nussbaumer, T.: Health Effects of Aerosols from Wood Combustion – A Review, 16th ETH-Conference on Combustion Generated Nanoparticles, ETH Zürich, 24.–27. June 2012
29. Font, A., Fuller, G., Airborne particles from wood burning in UK cities, Report for DEFRA, Environmental Research Group – King's College London, 2017
30. GAWADO, Misverstanden over pelletkachels en biomassaketels, GAWADO, themanummer duurzame verwarming, 2017
31. Gemeente Utrecht, Bewonerspanel Houtstook, 2016 (<https://www.utrecht.nl/fileadmin/uploads/documenten/bestuur-en-organisatie/publicaties/onderzoek-en-cijfers/Bewonerspanel/2016-Bewonerspanel-rapportage-Houtstook.pdf>)
32. Gezondheidsraad, Gezondheidswinst door schonere lucht, Nr. 2018/01, Den Haag, 23 januari 2018
33. Good, J.; Obermayr, D.; Nussbaumer, T.: Einfluss von Kaltstart und Teillast auf die Schadstoffemissionen von Stückholz- und Pelletheizungen, 11. Holzenergie-Symposium, 17. September 2010, ETH Zürich, 2010, ISBN 3-908705-21-5, 145–172
34. Greven, F., Reen, W., Hoek, G., Hagedoorn, N., Katoele, M., Vink, N., Duijm, F., Overlast door houtrook; onderzoek naar het meten van fijnstof als hulpmiddel bij het beoordelen van klachten over houtstook, GGD Groningen ism GGD Drenthe en GGD Fyslân, 2015
35. Hagens, W.I., Overveld, A.J.P. van, Fischer P.H., Gerlofs-Nijland, M.E., Cassee, F.R., Gezondheidseffecten van houtrook – een literatuurstudie, RIVM rapport 609300027/2011
36. Hamstra, G., Onderzoek Gebruiksintensiteit Kachels en Haarden, presentatie concept resultaten, onderzoek iov NHK, Right Marktonderzoek en Advies BV, 7 juni 2018
37. Happo, M.; Uski, O.; Jalava, P.; Kelz, J.; Brunner, T.; Hakulinen, P.; Mäki-Paakkanen, J.; Kosma, V.-M.; Jokiniemi, J.; Obernberger, I.; Hirvonen, M.-R.: Pulmonary inflammation and tissue damage in the mouse lung after exposure to PM samples



- from biomass heating appliances of old and modern technologies, *Science of The Total Environment*, Volume 443, 15 January 2013, 256-266
38. Hartmann, H., Personal communication, 2016
 39. Hartmann, H., Schön, C., Turowski P., *Richtig Heizen, Der Betrieb von Kaminofen*, TFZ, 2015
 40. Hartmann, H.; Schön, C.: User and fuel impact on emissions of wood stoves, 20th ETH Conference on Combustion Generated Nanoparticles, ETH Zürich, 13.-16.6.2016
 41. Hasler, P.; Nussbaumer, T.: Particle Size Distribution of the Fly Ash from Biomass Combustion. *Biomass for Energy and Industry*. 10th European Conference and Technology Exhibition, June 8 – 11 1998, Würzburg, Germany, 1330 – 1333
 42. Hendriks et.al., The origin of ambient particulate matter concentrations in the Netherlands, *Atmospheric Environment* 69 (2013) 289-303, 2013
 43. Illerup J.B., Hansen B.B, Lin W., Nickelsen J., Dam-Johansen K., Advanced combustion control for a wood log stove, IEA Bioenergy task 32 workshop on Highly Efficient and Clean Wood Log Stoves, Berlin 29 October 2015
 44. Jalava, P.; Happonen, M.; Kelz, J.; Brunner, T.; Hakulinen, P.; Mäki-Paakkanen, J.; Hukkanen, A.; Jokiniemi, J.; Obernberger, I.; Hirvonen, M.-R.: In vitro toxicological characterization of particulate emissions from residential biomass heating systems based on old and new technologies, *Atmospheric Environment*, Volume 50, April 2012, 24-35
 45. Jalava, P.I., R.O. Salonen, A.I. Hälinen, P. Penttinen, A.S. Pennanen, M. Sillanpää, E. Sandell, R. Hillamo, and M.-R. Hirvonen, In vitro inflammatory and cytotoxic effects of size-segregated particulate samples collected during long-range transport of wildfire smoke to Helsinki. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 2006. 215(3): p. 341-353
 46. Jalava, P.I., R.O. Salonen, K. Nuutinen, A.S. Pennanen, M.S. Happonen, J. Tissari, A. Frey, R. Hillamo, J. Jokiniemi, and M.-R. Hirvonen, Effect of combustion condition on cytotoxic and inflammatory activity of residential wood combustion particles. *Atmospheric Environment*, 2010. 44(13): p. 1691-1698
 47. Jansen, B.I., *Vernieuwd Emissiemodel Houtkachels*, TNO rapport 2016-R10318, TNO, 2016
 48. Jokiniemi, J., Tissari, J., Health effects of particle emissions from small scale biomass combustion – BIOHEALTH, final report, 28 march 2013,
 49. Jokiniemi, J., Tissari, J., Health effects of particle emissions from small scale biomass combustion – BIOHEALTH, public abstract, 2013
 50. Keuken M. P., ten Brink H.M., BOP report Traffic emissions of elemental carbon (EC) and organic carbon (OC) and their contribution to PM2.5 and PM10 urban background concentrations. The Netherlands Research Program on Particulate Matter. Report 500099011. 2009
 51. Klippel, N.; Nussbaumer, T.: Einfluss der Betriebsweise auf die Partikelemission von Holzöfen, Bundesamt für Energie, Zürich 2007
 52. Klippel, N.; Nussbaumer, T.: Health relevance of particles from wood combustion in comparison to Diesel soot, 15th European Biomass Conference, Berlin 7–11 May 2007, Paper W1612
 53. Kocbach Bolling, A., J. Pagels, K. Yttri, L. Barregard, G. Sallsten, P. Schwarze, and C. Boman, Health effects of residential wood smoke particles: the importance of



- combustion conditions and physicochemical particle properties. *Particle and Fibre Toxicology*, 2009. 6(1): p. 29
54. Kocbach, A.; Namork, E.; Schwarze, P. E.: Pro-inflammatory potential of wood smoke and traffic-derived particles in a monocytic cell line. *Toxicology* 2008, 247 (2–3), 123-132
 55. Kocbach, A.; Namork, E.; Schwarze, P. E.: Pro-inflammatory potential of wood smoke and traffic-derived particles in a monocytic cell line. *Toxicology* 2008, 247 (2–3), 123-132
 56. Koppejan J., *Handboek Biomassaverbrandingsinstallaties – Ontwerpen, installeren en beheren*, ISSO, 2015
 57. Koppejan, J., *Scenariostudie Marktpenetratie en Emissies Biomassaverbranding*, Procede Biomass BV, 2015
 58. Koppejan, J., van Loo, S., *Handbook of Biomass Combustion and Cofiring*, IEA Bioenergy Task 32, Earthscan, 2008
 59. Kos GPA, Weijers EP. *De bijdrage van houtverbranding aan P10 en PM2,5 in een winterperiode in Schoorl. Petten*, ECN-E–09-083, 2009
 60. Laden F, Schwartz J, Spezier F, Dockery D. Reduction in Fine Particulate Air Pollution and Mortality. *Am J Respir Crit Care Med*. 2006;173(6):667–672
 61. Mattes M., Hartmann I., *Nachrüstlösung zum katalytischen Abbau von gasförmigen organischen Emissionen aus Kaminöfen. Abschlussbericht (DBU-Förderprojekt AZ 31032). Report 25*, DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH, 8 Juli 2015.
 62. Meruma, B.J., Mineur, J.J.H., *Wat te doen tegen overlast van houtstook door particulieren? Een overzicht van regelgeving en rechtspraak*, Habitat advocatenkantoor in opdracht van Meldpunt Gezondheid en Milieu, 2010
 63. Naeher, L.P., M. Brauer, M. Lipsett, J.T. Zelikoff, C.D. Simpson, J.Q. Koenig, and K.R. Smith, *Woodsmoke Health Effects: A Review*. *Inhalation Toxicology*, 2007. 19(1): p. 67-106
 64. NHK, 2017, *Brancherichtlijn Houtstook*, 2018
 65. NHK, 2018, *Presentatie Installed Base Onderzoek, Rein Gelten*, 7 juni 2018
 66. Nussbaumer, T. (Ed.): *Aerosols from Biomass Combustion*, International Seminar by the IEA Bioenergy Task 32, 27 June 2001, ETH Zurich, Zurich 2001, ISBN 3-908705-00-2
 67. Nussbaumer, T., *Aerosols from Biomass Combustion – Technical report on behalf of the IEA Bioenergy Task 32*, 2017
 68. Nussbaumer, T., Czasch, C., Klippel, N., Johansson, L., and Tullin, C.: *Particulate Emissions from Biomass Combustion in IEA Countries, Survey on Measurements and Emission Factors*, International Energy Agency (IEA) Bioenergy Task 32, Zurich, 2008
 69. Nussbaumer, T., *Emissions of PCDD/F from private waste incineration*, European Biomass Conference, 2004
 70. Nussbaumer, T., Hassler, P., *Emissions of PCDD/F from biomass combustion*, European Biomass Conference proceedings, 1998
 71. Nussbaumer, T., *mondelinge communicatie*, 2018
 72. Nussbaumer, T., *PCDD/F-Emissionen der illegalen Abfallverbrennung: Einflussgrößen, correlationen und Konsequenzen für Holzfeuerungen*, Immissionsschutz 02-05, 2005



73. Nussbaumer, T.; Hälg, L.: Emissionsfaktoren von Holzfeuerungen – Aktualisierung und Ergänzung 2014, Bundesamt für Umwelt, 22.1.2015, 51 Seiten, ISBN 3-908705-26-6
74. Obernberger, I., Mandl, C., Survey on the present state of particle precipitation devices for residential biomass combustion with a nominal capacity up to 50 kW in IEA Bioenergy Task 32 member countries, IEA Bioenergy Task 32, 2011
75. Orasche J., Seidel T., Hartmann H., Schnelle-Kreis J., Chow J.C., Ruppert H., Zimmermann R., Comparison of Emissions from Wood Combustion. Part 1: Emission Factors and Characteristics from Different Small-Scale Residential Heating Appliances Considering Particulate Matter and Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH)-Related Toxicological Potential of Particle-Bound Organic Species.” *Energy & Fuels* 26 (11). American Chemical Society:6695–6704, 2012.
76. Plomp A.J., Mogelijkheden tot emissiereductie bij houtkachels, ECN rapport ECN-N-17-006., 2017
77. Poujolat, catalogus eensgezinswoningen 2016/2017
78. Reichert G, Schmidl C, Haslinger W, Schwabl M, Moser W, Aigenbauer S, Wöhler M, Hochenauer C. Investigation of User Behaviour and Assessment of Typical Operation Mode for Different Types of Firewood Room Heating Appliances in Austria. *Renewable Energy*. August 2016;93: 245-254.
79. Reichert, G., Schmidl C., Haslinger W., Stressler H., Sturmlechner R., Schwabl M., Wöhler M., Hochenauer C., Catalytic Efficiency of Oxidizing Honeycomb Catalysts Integrated in Firewood Stoves Evaluated by a Novel Measuring Methodology under Real-Life Operating Conditions, *Renewable Energy* 117 300–313, 2018.
80. Reichter G., Hartmann H., Haslinger W., Oehler H., Mack R., Schmidl C., Schön C., Schwabl M., Stressler H., Sturmlechner R., Hochenauer C., Effect of draught conditions and ignition technique on combustion performance of firewood roomheaters, *Renewable Energy* 105, 547-560, 2017
81. RVO, 2016, Geanonimiseerde samenvatting van jaarrapportages i.h.k.v. de SDE regeling, 2016
82. RVO, Geanonimiseerde jaarrapportages van de ISDE regeling in 2016 en 2017, 2018
83. Savolahti M., Karvosenoja N., Tissari J., Kupiainen K., Sippula O., Jokiniemi J., Black carbon and fine particle emissions in Finnish residential wood combustion: Emission projections, reduction measures and the impact of combustion practices, *Atmospheric Environment* 140 (2016) 495-505, 2016
84. Schipper, M., Omgevingsdienst Zuid Holland Zuid, mondelinge communicatie
85. Schmidl, C.; Luissier, M.; Padouvas, E.; Lasselsberger, L.; Rzaca, M.; Ramirez-Santa Cruz, C.; Handler, M.; Peng, G.; Bauer, H.; Puxbaum, H.: Particulate and gaseous emissions from manually and automatically fired small scale combustion systems. *Atmospheric Environment* 2011, 45 (39), 7443-7454
86. Schmidl, Consequences of real life operation on biomass boiler performance, report by IEA Bioenergy Task 32, 2018 (in press)
87. Schön, C., Hartmann, H., Nutzer- und Brennstoffeinflüsse auf Feinstaubemissionen aus Kleinfeuerungsanlagen, TFZ report 36, 2014
88. Schoots, K.; Hekkenberg, M.; Hammingh, P., Nationale Energieverkenning 2017, ECN, ECN-O–17-018, 2017
89. Schwarz, M., Carlon, E., :Load Cycle Tests for biomass boilers, Bioenergy2020+, presented at IEA Bioenergy Task 32 workshop, Graz, 19 feb 2017



90. Seljeskog, M.; Sevault, A.; Østnor, A.; Skreiberg, Ø.: Variables Affecting Particulate Emissions from Residential Wood Combustion – Simultaneous Sampling on Hot and Ambient Filter, 20th ETH Conference on Combustion Generated Nanoparticles, ETH Zürich, 13.-16.6.2016
91. Strous, C., Longfonds, Mondelinge communicatie, 2018
92. Struschka M., Kilgus D., Springmann M., Baumbach G., Effiziente Bereitstellung aktueller Emissionsdaten für die Luftreinhaltung, Forschungsbericht 205 42 322, Un. Stuttgart, 2008, ISBN 1862-4804
93. Tapanainen, M., P.I. Jalava, J. Mäki-Paakkanen, P. Hakulinen, H. Lamberg, J. Ruusunen, J. Tissari, J. Jokiniemi, and M.R. Hirvonen, Efficiency of log wood combustion affects the toxicological and chemical properties of emission particles. *Inhal Toxicol*, 2012. 24(6): p. 343-55
94. Tapanainen, M., P.I. Jalava, J. Mäki-Paakkanen, P. Hakulinen, M.S. Happonen, H. Lamberg, J. Ruusunen, J. Tissari, K. Nuutinen, P. Yli-Pirilä, R. Hillamo, R.O. Salonen, J. Jokiniemi, and M.-R. Hirvonen, In vitro immunotoxic and genotoxic activities of particles emitted from two different small-scale wood combustion appliances. *Atmospheric Environment*, 2011. 45(40): p. 7546-7554
95. Tebert, C., Volz, S. Töfge, K., Ermittlung und Aktualisierung von Emissionsfaktoren für das nationale Emissionsinventar bezüglich kleiner und mittlerer Feuerungsanlagen der Haushalte und Kleinverbraucher, Endbericht – Hauptteil, Ökoplan, 2016
96. Tytgat, T., Walpot G., Cools, J., Lenaerts, S., Literature review of emissions of modern wood combustion devices and emissions reducing technologies, under real-life conditions, University of Antwerp, Rapport voor Vlaamse Milieu Maatschappij, 2017
97. Van Onzeoort, R.: Geuremissie-onderzoek bij Van Puijnenbroek Textiel in Goirle. Buro Blauw, rapport nummer: BL2015.7613.01-V02, 122analyse122 2015
98. Van Onzeoort, R: Geuremissie bij Interfleura te Gendt. Buro Blauw, rapport nummer: BL2010.5342.01-V01, oktober 2010
99. Van Onzeoort, R.: Onderzoek naar de geuremissie van een open haard. Buro Blauw, rapport nummer: BL2009.4645.01, juni 2009
100. Van Onzeoort. R: Emissieonderzoek aan een outdoor wood boiler. Buro Blauw, rapport nummer: BL2018.8735.01-V01 van februari 2018
101. Vereniging Nederlandse Gemeenten. Handreiking bedrijven en milieuzonering. <http://www.milieuzonering.info/publicaties/> Editie 2009
102. Verhaaf, E.: Rendementsmetingen aan reinigingsinstallatie houtkachel te Gendt. Buro Blauw, rapport nummer: BL2012.5778.01-V01, februari 2012
103. Vincente, E.D., Alves, C.A., An overview of particulate emissions from residential biomass combustion, *Atmospheric Research* 199, 159–185, 2018
104. WHO, Air Quality Guidelines for Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulfur Dioxide, Global Update 2005, World Health Organization, WHO/SDE/PHE/OEH/06.02, Geneva. 2006
105. WHO, Residential heating with wood and coal: health impacts and policy options in Europe and North America, 2015
106. Wöhler, M., Pelz, S., University of Applied Forest Sciences, The Firewood Method, IEA Bioenergy Task 32 workshop at the Central European Biomass Conference, Graz, Austria, Jan 2017



107. Wörgetter, M., Moser, W., Emissionsbilanz von Holzfeuerungen kleiner Leistung in Niederösterreich – Ergebnisse einer Studie für die NÖLReg, BLT Wieselburg, 2005
108. Zhang, M., Buekens, A., Li, X., Dioxins from biomass combustion – an overview, Waste Biomass Valor., DOI 10.1007/s12649-016-9744-5, 2016
109. Zotter, P.; Richard, S.; Egli, M.; Nussbaumer, T.: A simple sampling method to analyse cell toxicity of nanoparticles and condensable compounds from biomass combustion, 20th ETH Conference on Combustion Generated Particles, ETH Zürich, 13.-16. June 2016



Appendix 1. Begeleidingscommissie

De begeleidingscommissie bestond uit vertegenwoordigers van

- TNO
- Gemeente Utrecht
- Omgevingsdienst Zuid Holland Zuid
- Provincie Overijssel
- Milieucentraal
- Rijkswaterstaat/Infomil
- NHK
- NBKL
- Milieudefensie

Een aantal partijen uit de begeleidingscommissie hebben gebruik gemaakt van de mogelijkheid om in een naschrift hun eigen standpunt omtrent de toepassing van houtstook weer te geven. Deze standpunten zijn hieronder vermeld.

Milieudefensie:

“Milieudefensie voert campagne voor een eerlijke transitie naar een samenleving met een minimale impact op klimaat en leefmilieu. Vanwege de urgentie van de klimaatproblematiek sluiten we het gebruik van biomassa als grondstof of brandstof niet bij voorbaat uit. Wel zien we grote duurzaamheids- en gezondheidsrisico’s. In de begeleidingscommissie van het ‘Kennisdocument Houtstook’, heeft het Milieudefensie vooral aandacht gevraagd voor de hinder en gezondheidsimpact op omwonenden van houtstook-installaties. Wij zien alleen ruimte voor beperkt gebruik van duurzaam gewonnen biomassa in enkele goed gecontroleerde installaties, voorzien van filters en in moderne kachels in afgelegen woningen.”

NBKL

“NBKL streeft naar de inzet van kwalitatief hoogwaardige biomassaketels met een hoog energie rendement (> 90%) en minimale uitstoot van fijnstof. Zij zet zich in voor een level playing field voor deze biomassaketels ten opzichte van andere verwarmings-technieken. De NBKL wil een actieve bijdrage leveren aan de energietransitie. NBKL heeft als visie dat warmte het beste zo lokaal mogelijk kan worden opgewekt, met zo min mogelijk nadelige effecten op anderen.”

NHK

“De Stichting Nederlandse Haarden- en Kachelbranche (NHK) is een brancheorganisatie van waaruit de kwaliteit van o.a. gas, hout en pellet gestookte toestellen, de installatie hiervan, en het opleidingsniveau van de installateurs wordt bevorderd. De NHK vormt daarnaast ook het aanspreekpunt voor stakeholders en de overheid voor het ontwikkelen en toepassen van wet- en regelgeving op het gebied van milieu en duurzame veiligheid. Het voorkomen van overlast is daarvan een belangrijk onderdeel. Dit alles komt ondermeer tot uiting in de geaccrediteerde Vakopleiding Installateur Haarden, Kachels en Rookkanalen die door de NHK wordt verzorgd. Het diploma van deze vakopleiding vormt de basis voor de Duurzame Energie (DE) erkennings- en certificeringsregeling. De NHK heeft zich als nauw betrokken brancheorganisatie ingezet als kennispartner in dit kennisdocument. De NHK betreurt het dat recent beschikbaar gestelde cijfermateriaal, afkomstig uit een onafhankelijk statistisch onderzoek, niet meer kon worden verwerkt in dit



rapport. Een doorrekening op basis van deze actuele cijfers zou een afwijkend beeld opleveren van CO₂ en emissies dan nu in het rapport gepresenteerd.”

Omgevingsdienst Zuid Holland Zuid (OZHZ)

‘OZHZ adviseert en ondersteunt gemeenten en de provincie bij het maken van verantwoorde keuzen op het gebied van economische ontwikkelingen, de schaarse ruimte en het milieu en creëren zo samen een gezonde, veilige en economische vitale leefomgeving voor inwoners en ondernemers. Door de energietransitie en het afnemen van het maatschappelijk draagvlak ziet OZHZ de meerwaarde in een informatief kennisdocument over biomassa. In de begeleidingscommissie heeft OZHZ gepleit aandacht gevraagd voor de nadelige gevolgen op de luchtkwaliteit en gezondheid.’

Provincie Overijssel

“De provincie Overijssel heeft de ambitie om in 2023 het aandeel hernieuwbare energie tot 20 % te laten groeien. Een belangrijk aandeel daarvan wordt ingevuld met energie uit biomassa. De inzet van houtige biomassa voor energie moet voldoen aan wettelijke (emissie)eisen en mag niet tot onaanvaardbare hinder of overlast leiden”.

Rijkswaterstaat / InfoMil

“Rijkswaterstaat InfoMil ondersteunt het bevoegd gezag met uitleg over de milieuregelgeving. Voor biomassa ziet de milieuregelgeving toe op milieu- en gezondheidsaspecten van de inzet ervan bij bedrijven. Alhoewel particuliere biomassastook buiten de algemene milieuregelgeving valt, ontvangt Infomil veel vragen aan de helpdesk over hinder en slechte luchtkwaliteit ten gevolge van houtstook door particulieren.



Appendix 2. Emissiefactoren in TNO model

De door TNO gehanteerde typische emissiefactoren per type toestel zijn in onderstaande tabel weergegeven en overgenomen uit Jansen et al. [47].

Stof	Eenheid	Open haard	Conventioneel	Verbeterd	DINplus
Vooral door toestel bepaald					
Antraceen	mg/GJ	129	232	299	119
Benzo(a)antraceen	mg/GJ	81	145	94	74
Benzo(a)pyreen	mg/GJ	65	116	75	59
Benzo(b)fluorantheen	mg/GJ	65	112	72	54
Benzo(ghi)peryleen	mg/GJ	48	87	56	45
Benzo(k)fluorantheen	mg/GJ	32	58	37	30
Black Carbon	mg/GJ	76	73	28	10
CH ₄	kg/GJ	0,30	0,30	0,30	0,30
Chryseen	mg/GJ	81	145	94	74
CO	g/GJ	3226	6452	3871	2903
CO ₂ -niet IPCC	kg/GJ	112	112	112	112
Fenantreen	mg/GJ	855	1539	992	786
Fluorantheen	mg/GJ	290	523	337	267
Grof Stof	g/GJ	484	65	65	65
Indeno(1,2,3-cd)pyreen	mg/GJ	32	58	37	30
KW _{Scondensable}	g/GJ	484	323	129	80
Naftaleen	mg/GJ	1613	2903	1871	1484
NM _{VOS}	g/GJ	1290	774	387	252
PAK (10)	mg/GJ	3226	5806	3742	2968
PCDD/F	ng/GJ	1613	174	174	174
PM ₁₀	g/GJ	161	194	97	52
PM _{2,5}	g/GJ	153	183	92	49
Vooral door brandstof bepaald					
Cadmium	mg/GJ	3,2	3,2	3,2	3,2
Koper	mg/GJ	22	22	22	22
Kwik	mg/GJ	1,9	1,9	1,9	1,9
Lood	mg/GJ	4,7	4,7	4,7	4,7
N ₂ O	kg/GJ	0,004	0,004	0,004	0,004
Nox	g/GJ	77	129	129	129
SO ₂	g/GJ	13	13	13	13
Zink	mg/GJ	46	46	46	46



Appendix 3. Gehanteerde emissiefactoren inclusief evt nageschakelde rookgasreiniging

Type verbrandingsinstallatie	rendement (%)	CO mg/MJ	stof mg/MJ	PM10 mg/MJ	PM2.5 mg/MJ	PM1 mg/MJ	Nox mg/MJ	VOC mg/MJ	NMVOC mg/MJ	KWS _{cond} mg/MJ	PCDD/F ng I TEQ/MJ	PAK10 mg/MJ
bioketel, NER-F7 <0,5 MW (<2013)	86%	165	20	19	19	18	83	3	2	1	0,45	0,17
bioketel, NER-F7 0,5..1,5 MW (<2013)	87%	167	20	19	19	18	76	3	3	1	0,35	-
bioketel, NER-F7 1,5..5 MW (<2010)	87%	142	14	14	13	13	76	3	3	1	0,25	-
bioketel, Act Besluit <0.5 MW (2013-2014)	86%	165	20	19	19	18	83	3	2	1	0,45	0,17
bioketel, Act Besluit 0.5-1 MW (2013-2014)	87%	167	20	19	19	18	76	3	3	1	0,35	-
bioketel, Act Besluit 0-1 MW (vanaf 2015)	87%	167	15	15	14	14	76	3	3	1	0,27	-
bioketel, Act Besluit 1-5 MW (sinds 2010)	87%	167	8	7	7	7	76	3	3	1	0,13	-
open haard	10%	3.326	167	161	154	148	77	1.806	1.290	484	1,61	3,23
inzethaard, conventioneel	45%	6.452	202	194	186	179	129	1.084	774	323	0,17	5,81
inzethaard, verbeterd	70%	3.871	101	97	93	89	129	542	387	129	0,17	3,74
inzethaard DIN+	80%	2.903	54	52	50	48	129	353	252	80	0,17	2,97
inzethaard, herziene 1 BimschV, fase 1	80%	1.340	54	52	50	48	129	163	116	37	0,17	2,97
inzethaard, herziene 1 BimschV, fase 2	80%	844	27	26	25	24	129	103	73	23	0,09	1,48
vrijstaand, conventioneel	50%	6.452	202	194	186	179	129	1.084	774	323	0,17	5,81
vrijstaand, verbeterd	75%	3.871	101	97	93	89	129	542	387	129	0,17	3,74
vrijstaand, DIN+	80%	2.903	54	52	50	48	129	353	252	80	0,17	2,97
vrijstaand, herziene 1 BimschV, fase 1	80%	1.340	54	52	50	48	129	163	116	37	0,17	2,97
vrijstaand, herziene 1 BimschV, fase 2	80%	844	27	26	25	24	129	103	73	23	0,09	1,48
pelletkachel	85%	648	32	32	31	31	185	8	5	2	-	-
pelletketel (4..25 kW)	91%	216	23	22	22	21	81	4	3	1	0,00	-



Naar rookgasconcentraties omgerekende emissiefactoren, bij 6% O₂ zodat een vergelijking met de eisen uit het Activiteitenbesluit voor met vaste biomassa gestookte installaties < 1 MW en 1..5 MW mogelijk is.

Type verbrandingsinstallatie	Spec rookgasvol (m ³ /MJ)	CO mg/m ³	stof mg/m ³	PM10 mg/m ³	PM2.5 mg/m ³	PM1 mg/m ³	Nox mg/m ³	VOC mg/m ³	NMVOC mg/m ³	KWS _{cond} mg/m ³	PCDD/F ng I TEQ/m ³	PAK10 mg/m ³
bioketel, NER-F7 <0,5 MW (<2013)	0,368	450	54	53	51	50	226	9	7	2	0,10	-
bioketel, NER-F7 0,5..1,5 MW (<2013)	0,370	450	54	52	51	49	205	9	8	3	0,01	-
bioketel, NER-F7 1,5..5 MW (<2010)	0,370	382	38	37	36	35	205	9	8	3	0,01	-
bioketel, Act Besluit <0.5 MW (2013-2014)	0,368	450	54	53	51	50	226	9	7	2	0,10	-
bioketel, Act Besluit 0.5-1 MW (2013-2014)	0,370	450	54	52	51	49	205	9	8	3	0,01	-
bioketel, Act Besluit 0-1 MW (vanaf 2015)	0,370	450	40	40	38	37	205	9	8	3	0,01	-
bioketel, Act Besluit 1-5 MW (sinds 2010)	0,370	450	20	20	19	19	205	9	8	3	0,01	-
open haard	0,346	9.601	483	463	445	427	222	5.213	3.724	1.397	4,66	9
inzethaard, conventioneel	0,328	19.647	615	591	567	544	393	3.300	2.357	984	0,53	18
inzethaard, verbeterd	0,343	11.294	295	283	272	261	376	1.581	1.129	376	0,51	11
inzethaard DIN+	0,359	8.086	151	145	139	133	359	983	702	223	0,48	8
inzethaard, herziene 1 BimschV, fase 1	0,359	3.732	151	145	139	133	359	454	324	103	0,48	4
inzethaard, herziene 1 BimschV, fase 2	0,359	2.350	75	72	69	67	359	286	204	65	0,24	2
vrijstaand, conventioneel	0,328	19.647	615	591	567	544	393	3.300	2.357	984	0,53	18
vrijstaand, verbeterd	0,343	11.298	295	283	272	261	376	1.581	1.129	376	0,51	11
vrijstaand, DIN+	0,359	8.086	151	145	139	133	359	983	702	223	0,48	8
vrijstaand, herziene 1 BimschV, fase 1	0,359	3.732	151	145	139	133	359	454	324	103	0,48	4
vrijstaand, herziene 1 BimschV, fase 2	0,359	2.350	75	72	69	67	359	286	204	65	0,24	2
pelletkachel	0,351	1.846	91	90	89	88	527	22	15	5	-	-
pelletketel (4..25 kW)	0,358	604	64	62	61	59	226	11	8	2	0,06	-
Normen in Activiteitenbesluit tot 5 MW			20..40				275..300				0,10*	0,05..5*

*: dioxines en PAK zijn Zeer Zorgwekkende Stoffen. Hiervoor geldt een minimalisatieverplichting. De hier genoteerde emissiegrenswaarden zouden gelden indien de grensmassastroom wél zou worden overschreden.



Appendix 4. Emissiefactoren voor open haarden en gesloten kachels en haarden uit de EMEP/EEA database [20]

	Open fireplaces	Conventional stoves	Energy efficient stoves	Advanced / ecolabelled stoves and boilers	Pellet stoves and boilers
CO (g/GJ)	4000	4000	4000	2000	300
TSP (g/GJ)	575	500	285	77	47
PM10 (g/GJ)	550	460	265	72	45
PM2.5 (g/GJ)	530	440	255	70	45
NOX (g/GJ)	50	50	80	95	80
NMVOG (g/GJ)	600	600	350	250	10
PCDD/F (ng I-TEQ/GJ)	800	800	250	100	100
HCB (µg/GJ)	5	5	5	5	5
BC (% of PM2.5)	15,5	31,5	29,5	41,5	22,5
Sox (g/GJ)	11	11	11	11	11
NH3 (g/GJ)	74	70	37	37	12
PCB (µg/GJ)	0,06	0,06	0,03	0,01	0,01
Benzo(k)fluoranthene (mg/GJ)	42	42	42	5	5
Benzo(b)fluoranthene (mg/GJ)	111	111	111	16	16
Benzo(a)pyrene (mg/GJ)	121	121	121	10	10
Indeno(1 2 3-cd)pyrene (mg/GJ)	71	71	71	4	4
As (mg/GJ)	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
Pb (mg/GJ)	27	27	27	27	27
Ni (mg/GJ)	2	2	2	2	2
Hg (mg/GJ)	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
Cr (mg/GJ)	23	23	23	23	23
Cd (mg/GJ)	13	13	13	13	13
Se (mg/GJ)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Cu (mg/GJ)	6	6	6	6	6
Zn (mg/GJ)	512	512	512	512	512



Appendix 5. Energieopwekking en emissievrachten per toepassing

Deze appendix geeft op twee wijzen de uitkomsten weer van de modelberekeningen, zoals in hoofdstuk 3 beschreven:

- een momentopname van de situatie per 2018 voor wat betreft biomassaverbruik, warmteopwekking en uitstoot in de navolgende tabel
- een tijdreeks voor de periode 2010-2020 voor dezelfde gegevens.



	Aantal	Geïnst. Vermogen (MW)	Warmte- productie (PJ)	Biomassa- verbruik (PJ)	CO (ton/jaar)	stof (ton/jaar)	PM10 (ton/jaar)	PM2.5 (ton/jaar)	PM1 (ton/jaar)	NOx (ton/jaar)	VOS (ton/jaar)	NMVOG (ton/jaar)	KWScond (ton/jaar)	PCDD/F (g/jaar)	PAH (ton/jaar)
Pelletketels	3.000	15	0,1	0,1	24	3	2	2	2	9	0	0	0	0,00	-
Vrijstaande kachels	570.000	3.206	10,9	14,3	40.624	1.013	973	934	896	1.851	5.577	3.984	1.389	2,11	40
Inzethaarden	121.000	546	1,6	2,6	12.471	362	347	333	320	336	1.960	1.400	552	0,44	12
Open haarden	366.000	683	0,2	2,5	8.272	416	399	383	368	192	4.492	3.208	1.204	4,01	8
Houtindustrie	761	113	0,9	1,0	750	27	26	25	24	150	21	14	4	0,01	-
Landbouw	2.239	268	3,2	3,6	605	60	58	57	55	286	12	10	3	0,06	0
Energiebedrijven	20	21	0,2	0,3	46	3	3	3	3	21	1	1	0	0,00	-
Overige bedrijven	658	118	1,3	1,5	244	19	18	18	17	113	5	4	1	0,01	0
Totaal	1.063.677	4.969	18,4	26,0	63.037	1.902	1.827	1.755	1.686	2.958	12.068	8.622	3.153	6,64	59
Nat. Uitstoot (2015)[21]					640.800	30.360		16.530		356.300	147.400			21,87	200-500
NEC plafond voor 2020 [25]								13.000		202.000	166.000				

