



Rapportage in opdracht van
Meldpunt Gezondheid en Milieu
Platform Stookhinder

**Overzicht van maatregelen en van technische voorzieningen
die de uitstoot van schadelijke stoffen door houtgestookte
kachels en ketels kunnen verminderen**

Nic Franssens en Michiel Franssens
Ecolink Solutions CV
www.ecolinksolutions.com

Wijk bij Duurstede

18 november 2010

SAMENVATTING

In Nederland is een grote variëteit aan stookinstallaties voor hout geïnstalleerd in particuliere woningen en bedrijven. Daarin worden biogene vaste brandstoffen verbrand zoals stukhout, gekloofd hout, houtsnippers, pellets en briketten. Het gebruik van deze brandstoffen uit biomassa kent ten opzichte van fossiele brandstoffen grote milieu- en energievoordelen. De CO₂ die vrijkomt bij de verbranding maakt deel uit van een gesloten CO₂ kringloop en de bronnen van biomassa als energiedrager zijn onuitputtelijk. Motieven om hout te stoken kunnen het ontbreken van een alternatief zijn, de behoefte aan het koesteren aan een zichtbare warmtebron en sfeer of de behoefte om onafhankelijk te zijn van energiebedrijven en van fossiele brandstoffen.

De verbranding van hout verloopt echter nooit helemaal optimaal en er ontstaan restproducten. De houtrook kan, naast kooldioxide, stikstof en water, vele andere verbindingen bevatten. Naarmate de verbranding slechter verloopt en onvollediger is komen er meer verbindingen vrij die schadelijk kunnen zijn voor gezondheid en milieu. Bovendien komen er honderden chemische verbindingen vrij die intensief kunnen geuren. Het zijn vooral deze verbindingen die aanleiding geven voor hinder en overlast.

Er kunnen primaire en secundaire maatregelen worden getroffen om de uitstoot uit schoorstenen te verminderen. Primaire maatregelen verminderen de vorming van schadelijke verbindingen in houtrook en omvatten onder andere:

- het ontwerp en de plaatsing van het verbrandingstoestel;
- het ontwerp van het afvoersysteem van de verbrandingsgassen;
- de brandstof waarbij vooral het vochtgehalte en de houtsoort belangrijke rollen spelen;
- het stookgedrag en de bediening van de kachel. Stoken bij mistig weer en het knijpen van de luchttoevoer zijn veelvoorkomende oorzaken van stookhinder.

Secundaire maatregelen, zogeheten 'end of pipe' maatregelen, komen in beeld wanneer er alles aan is gedaan om de verbranding te optimaliseren. Met technische voorzieningen kan de uitstoot van fijnstof, koolmonoxide, andere onvolledig verbrande verbindingen en geurstoffen verder worden verminderd. De voorzieningen worden in de kachel, op de kachel, in de schoorsteen of op de monding van de schoorsteen geplaatst. Veel technische systemen welke op de markt zijn richten zich op de vermindering van de uitstoot van fijnstof. Dit zijn elektrostatische filters, droge filters en natte wassers. Elektrostatische filters en wassers halen roetdeeltjes en minerale vliegias uit de houtrook. Vluchtige geurstoffen worden niet afgescheiden uit de houtrook. Katalysatoren voor houtkachels en -ketels zorgen voor een katalytische naverbranding van de houtrook waarbij ook geurstoffen worden geneutraliseerd. De technieken zijn vergeleken op de volgende aspecten:

- Kosten van de systemen
- Eenvoud van de inbouw
- Invloed op het verbrandingsproces
- Onderhoudsniveau
- Bedrijfszekerheid
- Prestaties
- Levensduur

INHOUDSOPGAVE

1. Inleiding	4
2. Stookinstallaties voor hout	5
3. Brandstoffen	6
4. Het verbrandingsproces	8
4.1. De restproducten van de verbranding van hout	8
5. Belangrijke primaire en secundaire maatregelen om de overlast en hinder te verminderen	10
5.1. Primaire maatregelen	10
5.1.1. Het ontwerp en de plaatsing van het verbrandingstoestel	10
5.1.2. Het ontwerp van het afvoersysteem van de verbrandingsgassen	11
5.1.3. De brandstof	12
5.1.4. Het stookgedrag en de bediening van de kachel	12
5.2. Secundaire maatregelen	13
5.3. Beschrijving van houtrook-reinigingstechnieken	14
5.3.1. Elektrostatische afscheiding	14
5.3.2. Fysische en mechanische afscheiding	14
5.3.3. Condensatie	15
5.3.4. Natte wassing	16
5.3.5. Thermische naverbranding in de kachel of de ketel	16
5.3.6. Katalytische naverbranding	16
5.4. Voor- en nadelen van de verschillende secundaire maatregelen	18
5.4.1. Elektrostatische afscheiding	18
5.4.2. Fysische en mechanische afscheiding	19
5.4.3. Condensatie	19
5.4.4. Naverbranding in de kachel of de ketel	19
5.4.5. Katalytische naverbranding	19
5.5. Beschrijving van uitvoeringstypen	21
5.5.1. Systemen geïntegreerd in kachels en ketels	24
5.5.1.1. Geïntegreerd in kachels	24
5.5.1.2. Geïntegreerd in ketels	26
5.5.1.3. Natwater	28
5.5.2. In schoorsteen achter kachels en ketels	29
5.5.2.1. Elektrostatisch filter (e-filter)	29
5.5.3. Katalysator	33

1. Inleiding

De denktank van het Platform Stookhinder heeft aangegeven belangstelling te hebben in een overzicht van technieken die de uitstoot door houtgestookte kachels en ketels kunnen verminderen. Ecolink Solutions uit Wijk bij Duurstede heeft indertijd, op grond van haar expertise op het gebied van de aspecten van het benutten van biomassa als energiedrager, aangegeven een actieve rol te willen spelen in de denktank. Ecolink Solutions Advies en Techniek / Energie en Milieu verricht ondermeer rookgasmetingen aan houtgestookte kachels en ketels en adviseert over maatregelen om het rendement van de stookinstallatie te verhogen en de uitstoot te verminderen. Nic Franssens van Ecolink Solutions is tevens directeur van de Duitse firma moreCat GmbH welke katalysatorsystemen ontwikkelt en produceert.

Ecolink Solutions is door het platform gevraagd om een overzicht op te stellen van maatregelen en technieken die de gezondheidsklachten, de milieuschade, de overlast en de hinder door het stoken van hout kunnen verminderen.

In de onderhavige rapportage worden primaire en secundaire maatregelen beschreven. Primaire maatregelen zijn gericht op het voorkomen van de uitstoot van ongewenste verbindingen. Deze hebben betrekking op het ontwerp van de kachel, de schoorsteen, de brandstof en het stookgedrag. Secundaire maatregelen hebben betrekking op het afvangen of omzetten van stoffen en verbindingen die bij het stoken vrijkomen. De systemen die als secundaire maatregel kunnen worden ingezet zijn onderverdeeld in categorieën en worden beschreven. Daarbij komt in ieder geval het principe van de techniek aan bod en is de techniek met foto of tekening geïllustreerd. De voor- en nadelen worden aangegeven en er worden, voor zover daar informatie over is, richtprijzen genoemd. Vervolgens zijn de systemen zoals deze door de verschillende afzonderlijke leveranciers worden ontwikkeld of aangeboden beschreven. De systemen worden daarnaast in een overzichtelijke matrix gepresenteerd.

Bij het opstellen van het overzicht van technische voorzieningen worden alleen technieken en systemen genoemd welke in Europa worden vervaardigd en/of geleverd en toepasbaar zijn op kachels en stookinstallaties voor hout met een relatief klein vermogen tot enkele honderden kW-thermisch. Omvangrijke rookgas-reinigingsinstallaties welke meerdere reinigingsstappen toepassen, gecompliceerde, volumineuze systemen of installaties welke hoge investeringskosten of veel ruimte vragen worden niet beschreven.

Er wordt bij de technieken onderscheid gemaakt in technieken die ontwikkeld zijn voor de vermindering van de emissie van fijnstof, van koolmonoxide, van geurcomponenten, van organische verbindingen zoals koolwaterstoffen en van combinaties hiervan. Fijnstof bestaat uit roetdeeltjes en minerale bestanddelen. Roet kan chemisch worden ontleed en worden geoxideerd, roet is paramagnetisch en fijnstof kan elektrostatisch worden geladen. Verscheidene technieken maken gebruik van deze eigenschappen.

Er is sprake van verschillende aanleidingen voor de ontwikkeling van de systemen in de verscheidene landen. De aanleiding kan een voorschrift zijn waaraan kachels moeten voldoen ten aanzien van de uitstoot van koolmonoxide, van (fijn)stof of bij grotere installaties van stikstofoxide. Deze parameters zijn te meten en de emissie-eisen zijn daardoor relatief eenvoudig te handhaven. Lastiger ligt het voor geur. Geur van de houtrook uit een schoorsteen is moeilijk te meten en op een objectieve manier te beschrijven, te beoordelen en te toetsen aan een wettelijk kader. Bij de

beschrijving van de systemen is aangegeven op welke reductie de systemen zich richten en, voor zover wij daar informatie over hebben, in welke mate deze daarin slagen.

Er zijn systemen ontwikkeld die geïntegreerd zijn in kachels en ketels en alleen door de aanschaf van een nieuwe kachel of ketel kunnen worden geïnstalleerd. Een tweede categorie van systemen die zal worden beschreven wordt op een bestaande kachel of in een bestaande schoorsteen gemonteerd. Een derde categorie bestaat uit systemen waarvoor bestaande schoorsteenkanalen moeten worden aangepast. De systemen werken stroomloos of hebben een elektrische aansluiting of een aparte afvoer nodig voor de componenten die zijn afgescheiden uit de rook.

Er wordt alleen gerapporteerd over ontwikkelingen die in publicaties of anderszins door bedrijven of instituten naar buiten zijn gebracht. Het is niet uit te sluiten dat bij de inventarisatie binnen Europa technieken worden gemist die zich buiten ons gezichtsveld bevinden. Wij kunnen niet garanderen dat het overzicht volledig is en de actuele stand weergeeft van alle ontwikkelingen binnen Europa.

2. Stookinstallaties voor hout

Met de opkomst van de huisvesting van mensen in houten en stenen bouwwerken zijn mensen creatief geweest met het ontwikkelen van voorzieningen om de energie van houtvuren te beheersen. Dat gebeurde eerst door stenen rondom een vuur te plaatsen en door het vuur in te kapselen in bouwsels van klei. Veel later werden schoorstenen gebouwd om binnenshuis geen hinder meer te hebben van de houtrook, om de verbranding te verbeteren en om brand te voorkomen. Inmiddels is er met veel gevoel voor vormgeving en marketing, materiaal- en productiekennis, kennis van verbrandingstechnologie en een toegenomen zorg voor gezondheid en milieu een grote verscheidenheid aan haarden, kachels en ketels op de markt verkrijgbaar.

Voorzieningen om hout te stoken zijn onder te verdelen in:

- open haarden, inbouw- of inzethaarden;
- vrijstaande kachels, wandkachels en fornuizen in keukens;
- tegel- en speksteenkachels die warmte bufferen en langzaam afgeven;
- hout CV-kachels en -fornuizen;
- tuinhaarden en vuurkorven;
- stukhout ketels met een automatische regeling van de verbranding maar met een handmatige invoer van stukhout;
- volautomatische houtgestookte ketels met capaciteiten van 40 kW tot enkele MW, met een warmtewisselaar voor de productie van hete lucht of warm water. Deze ketels worden vooral gestookt met houtsnippers (houtchips) of houtpellets.

De zogenoemde “allesbrander” komt in dit overzicht niet voor. Een allesbrander bestaat namelijk niet want in haarden, kachels en ketels kan, om technische redenen, niet “alles” worden verbrand en mag dat ook niet om milieutechnische redenen.

Overzicht van typen en kenmerken van handmatig gevoede houtkachels en ketels.

Type	Kenmerken
Open haard	Met en zonder circulatie
Gesloten kachel	Met circulatie en venster
Kamerhaard	Vrijstaande, niet vast geïnstalleerde kachel
Kachelhaard	Als kamerhaard, met venster
Accumulatorkachel	Geleidelijke afgifte van opgeslagen warmte door straling of door convectie (bv tegel- of speksteenkachel)
Keukenhaard	Warmte voor koken, ruimteverwarming of zitbankverwarming
Pelletkachel	Automatische geregelde brandstof- en luchttoevoer (ventilator)
Centrale verwarmingskachel	Warmte wordt gebruikt voor koken, voor ruimteverwarming en verwarmen van consumptiewater
Uitgebreide kachel en haard	Met warmtewisselaar water-water of lucht-lucht.
Pelletkachel met warmtewisselaar	Geschikt als soloverwarming voor energiezuinige woning
Stukhoutketel	Stookhout tot 1 m. , natuurlijke en geforceerde trek, buffering van warmte is vereist

3. Brandstoffen

Biogene vaste brandstoffen bestaan uit cellulose, polyose en lignine met de belangrijkste elementen koolstof, zuurstof en waterstof. Daarnaast bevatten deze brandstoffen anorganische verbindingen en metalen. Het meest gebruikt in Nederland is hout in de vorm van stukhout, gekloofd hout, houtsnippers, pellets, briketten, etc.

De gefossiliseerde biogene brandstoffen steenkool, turf, bruinkool en brandstofbriketten worden in Nederland minder gebruikt in kleine stookinstallaties. Ze zijn minder beschikbaar of duur. Steenkool en bruinkool bevatten veel zwavel. De zwavelverbindingen die bij de verbranding worden gevormd hebben een penetrante geur.

Hout is een materie van organische oorsprong of te wel koolstofhoudende materie die nog niet fossiliseert zoals bij turf, bruinkool of steenkool. Hout is biomassa. Het gebruik van biomassa als brandstof kent ten opzichte van fossiele brandstoffen grote milieu- en energievoordelen, te weten:

- de CO₂ die tijdens de groei door de biomassa uit de atmosfeer is opgenomen wordt weer vrijgemaakt en komt opnieuw ter beschikking voor de groei van biomassa. Er komt geen CO₂ in de atmosfeer bij, er is sprake van een gesloten CO₂-kringloop of te wel CO₂-neutraal energiegebruik;
- de voorraad aan fossiele brandstoffen wordt niet aangesproken. Biomassa gedijt alleen onder invloed van zonlicht en biomassa kan worden beschouwd als zonne-energie die is opgeslagen in een vaste vorm;
- omdat biomassa een vorm van gebruik van de energiebron "zonne-energie" is, is deze "energiedrager" onuitputtelijk. Biomassa kan steeds weer opnieuw worden aangeplant, deze energiedrager is dus eindelijk te regenereren. Om dit voordeel vast te houden is wel vereist

dat er sprake is van duurzame land- en bosbouw waarbij de totale hoeveelheid aan gewassen - de totale CO₂-opnamecapaciteit- minimaal gelijk blijft;

- voor het winnen van biomassa als energiedrager is relatief weinig energie nodig (bijlen, hand- of motorzagen, transportmiddelen, etc.). In het geval van snoeihout bevordert het winnen van biomassa de opnamecapaciteit van gewassen sterk doordat snoei de groei en dus de behoefte aan CO₂ bevordert. In verhouding tot het winnen van bijvoorbeeld olie en kolen, waar grote inspanningen voor moeten worden gedaan en grote milieuschade door ontstaat, is het energetisch rendement van biomassa erg hoog

Deze voordelen zijn weliswaar erg belangrijk en in het algemeen belang van de mensheid maar vormen meestal niet de hoofdreden voor mensen om hout te stoken in een haard of kachel. De motieven om hout te stoken zullen bijvoorbeeld voortkomen uit:

- het ontbreken van alternatieven zoals de beschikbaarheid van een aardgasaansluiting. Hierbij valt te denken aan woonboten en woningen die niet op het aardgasnet zijn aangesloten;
- het beschikbaar zijn van een goedkope bron van stookhout;
- het feit dat er een haard of kachel in een nieuw betrokken woning of in een vakantiehuisje aanwezig is;
- de behoefte om zich te koesteren aan een zichtbare, voelbare warmtebron, als alternatief of aanvulling voor centrale verwarming met radiatoren en/of vloerverwarming, hete lucht verwarming, stralingsverwarming (bv infrarood), wandverwarming, etc;
- de behoefte aan een sfeer die de aanwezigheid van een open vuur kan bieden;
- een ontoereikende capaciteit van een bestaande, conventionele verwarming;
- een behoefte om meer onafhankelijk te zijn van energiebedrijven;
- de behoefte om recht te doen aan de voordelen van het gebruik van biomassa als brandstof.

4. Het verbrandingsproces

De verbranding van hout verloopt in verschillende stappen. De volgende processen vinden daarbij plaats:

Stap	Proces
1	Verwarming van het hout onder invloed van stralingswarmte van de vlammen, de gloeiende kool en de wanden van de verbrandingsruimte.
2	Droging door verdamping en afvoer van water uit het hout bij temperaturen vanaf circa 100 °C.
3	Pyrolytische omzetting (zuurstofloze omzetting van koolwaterstoffen) van de watervrije brandstof bij temperaturen vanaf circa 150 °C.
4	Vergassing van de watervrije brandstof met zuurstof tot brandbare gassen (koolmonoxide, koolwaterstoffen en vaste koolstof) bij temperaturen vanaf circa 250 °C.
5	Verbranding van de vaste koolstof met koolstofdioxide, waterdamp en zuurstof tot koolmonoxide bij temperaturen vanaf circa 500 °C.
6	Oxidatie (verbranding) van de brandbare gassen met zuurstof tot koolstofdioxide en water bij temperaturen vanaf circa 700 °C tot circa 1.400 °C (realistisch) tot circa 2.000 °C (theoretisch).
7	Warmteafgifte door de vlammen aan de omringende wanden van de verbrandingsruimte en aan de aangevoerde brandstof.

De producten van een volledige verbranding van brandstoffen die uit koolstof, waterstof en zuurstof zijn samengesteld zijn kooldioxide en waterdamp. Deze leveren geen ecologische problemen, althans voor zover het geen fossiele brandstof betreft.

Wanneer stap 3 en 4 onvolledig verlopen ontstaan onvolledig verbrande verbindingen zoals koolmonoxide, koolwaterstoffen (C_xH_y, teer) en roet (het brandbare deel van de fijnstof/vliegias). Deze verbindingen verlaten dan onverbrand de schoorsteen en veroorzaken stankoverlast en/of kunnen zeer schadelijk zijn voor mens en milieu. Bij een juist ontwerp en bediening van de kachel of ketel worden deze verbindingen in processtap 6 geoxideerd (verbrand).

4.1. De restproducten van de verbranding van hout

Naast koolstof, waterstof en zuurstof bevat hout ook stikstof (0,1 tot 0,2 %), kalium (beuken bijvoorbeeld circa 0,2%), zwavel (0,015%), chloor (0,005%) en sporenelementen. De meeste sporenelementen zijn metalen: arseen, cadmium, chroom, koper, kwik, lood en zink. Deze elementen zijn door de gewassen uit de bodem (grond- en grondwater) opgenomen en opgeslagen. De meeste van de zogeheten anorganische verbindingen, zoals kalium en metalen, verbranden of vervluchtigen niet en zijn terug te vinden in de vliegias en in de bodemas in de aslade.

Bij de verbranding van hout komen restproducten vrij. De uitstoot van deze restproducten uit schoorstenen kan aanleiding geven tot gezondheidsklachten, milieuschade, overlast en hinder. Houtrook bestaat voor 70 - 80 volume-% uit stikstof. Daarna komt 10 tot 20 % ongebruikte zuurstof, voorts enkele procenten kooldioxide, waterdamp (uit het niet 100% droge hout en als

verbrandingsproduct), onverbrande gassen, teerdruppeltjes, as, zwaveldioxide, stikstofoxide, enz.

Het rookgas (de houtrook) van een houtgestookte kachel of ketel is ondermeer samengesteld uit:

- Vlieggas bestaande uit niet brandbare, inerte, stofdeeltjes.
- Zware metalen waaronder koper, lood, zink en cadmium.
- Zwavel, chloor en kaliumverbindingen (SO₂, HCl, KCl).
- Dioxines en furanen.
- Stikstofverbindingen (NO, NO₂, HCN, NH₃, N₂O).
- Koolwaterstofverbindingen: alifaten, cyclische (vooral benzeen) en polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's), formaldehyden, alcoholen, ketonen, esters en anderen.
- Koolstof en roet.
- Zuurstof, kooldioxide, koolmonoxide en water.

De kleur van de rook die uit de schoorsteen komt vormt een indicatie voor de kwaliteit van verbranding in de kachel. Donkerblauwe en geelbruine rook duidt op onvolledige verbranding. De rook bevat veel teerdeeltjes en as. De pijp roet dicht. Een grote productie aan lichtgrijze rook kan op het zelfde euvel duiden, maar nu bevat de rook veel waterdamp (stoom). Witte of lichtgrijze rook die vooral op koude dagen snel in de atmosfeer oplost, duidt op veel waterdamp, maar tevens op een nagenoeg volledige verbranding. Meestal zal een deskundig gestookte houtkachel een iets lichtgrijs gekleurde rookpluim produceren welke snel oplost in de atmosfeer. Echter, ook al is de kachel van uitstekende kwaliteit, wordt droog en schoon hout gebruikt en wordt de kachel goed gestookt, de rook zal altijd onverbrande deeltjes bevatten en geuren.

Onder geurcomponenten in houtrook worden die verbindingen verstaan die met het reukorgaan duidelijk kunnen worden waargenomen, die herkend en herleid worden als typische geurcomponenten van houtrook en die als irriterend en hinderlijk kunnen worden beleefd. Het betreft verbindingen met een hoge hedonische waarde of te wel een prominente geurbeleving.

De verbindingen in houtrook die intensief kunnen geuren zijn uit de onderstaande groepen. Binnen deze groepen zijn circa 500 afzonderlijke verbindingen te onderscheiden.

- meerdere koolwaterstofverbindingen met name polycyclische;
- aldehyden (alkanalen). Bijvoorbeeld acetaldehyde (ethanal), propionaldehyde (propanal), formaldehyde en andere;
- organische zuren waaronder mierenzuur, azijnzuur, propionzuur (propaanzuur) en andere;
- gecondenseerde aromaten;
- styreen (ethenylbenzeen);
- fenol (hydroxybenzeen);
- overige verbindingen: guaiacol, ethylguaiacol, furfurylalcohol.

Zowel fijnstof als vele verbindingen in de houtrook zijn potentieel schadelijk voor gezondheid en milieu. Geurcomponenten hoeven niet direct schadelijk te zijn maar kunnen wel aanleiding geven tot klachten betreffende stankoverlast. Houtrook die qua geur als bijzonder onaangenaam wordt ervaren kan een indicator zijn voor een slechte verbranding en voor de aanwezigheid van vele andere schadelijke verbindingen in de houtrook. Dat hoeft echter niet samen te gaan. Een

nagenoeg volledige verbranding van houtsoorten van tropische herkomst kan een zeer sterke rookgeur opleveren. Omdat deze geur voor ons exotisch is wordt deze al snel als onaangenaam gekwalificeerd, terwijl er geen sprake hoeft te zijn van een schadelijke rook. Klachten betreffen veelal de stank van houtrook en de psychologische associatie met schadelijkheid. De uitstoot van fijnstof zal, voor zover deze niet als sterk gekleurde rook of als stank wordt waargenomen, daarentegen weinig aanleiding geven voor mensen om te klagen terwijl fijnstof wel degelijk een bedreiging vormt voor de volksgezondheid.

5. Belangrijke primaire en secundaire maatregelen om de overlast en hinder te verminderen

Het stoken van hout in haarden en kachels is een handmatige activiteit waarbij de omstandigheden in de verbrandingsruimte, het verloop van de verbranding en dus de kwaliteit van de verbranding steeds wisselen. Een natuurlijke trek, die de toevoer van verbrandingslucht naar het vuur mogelijk maakt, is met name afhankelijk van de weersomstandigheden die uiteraard sterk variëren. De stukken stookhout variëren in samenstelling en in grootte en worden in willekeurige posities in de verbrandingsruimte gelegd. De samenstelling van het rookgas wordt niet continu gemeten en de afstelling van de kachel wordt niet automatisch geregeld en in een optimale toestand gehouden. Alle pogingen ten spijt is het onmogelijk om een kachel dusdanig handmatig te stoken dat er sprake is van een optimale verbranding waarbij overlast en hinder zo veel mogelijk worden beperkt. Maatregelen die een belangrijke bijdrage kunnen leveren aan het verminderen van de uitstoot, overlast en hinder betreffen primaire en secundaire maatregelen. Met het treffen van primaire maatregelen kan de vorming van ongewenste verbindingen bij het stoken van hout worden teruggedrongen. Secundaire maatregelen zijn in dit geval, bijna letterlijk te nemen, "end of pipe" maatregelen. Daarbij worden technische voorzieningen getroffen om de uitstoot te verminderen.

5.1. Primaire maatregelen

5.1.1. Het ontwerp en de plaatsing van het verbrandingstoestel

- a. de capaciteit van de te plaatsen kachel moet zorgvuldig worden afgestemd op de warmtebehoefte. Met een klein vuurtje in een te grote kachel bereikt de kachel en de schoorsteen niet de juiste bedrijfstemperatuur. De natuurlijke trek komt onvoldoende tot ontwikkeling of valt sterk terug. De rookgassnelheid in de schoorsteen is te laag. De hevigste vorming van teer en creosoot in het schoorsteenkanaal treedt op als een vuur wordt "getemperd" en de kachel "op een laag pitje" smeult. Bij geringe trek is de schoorsteen koud, wat bevorderlijk is voor de condensatie van waterdamp (watervorming) waarin een deel van de gassen in oplossing zal gaan. Er ontstaat een zure oplossing, die ijzer aantast, zelfs een roestvast stalen of een gegalvaniseerde pijp. Binnen de pijp loopt het zure, bruinzwarte water naar beneden, tot het water opnieuw verdampt en er creosoot in vaste toestand - roet- overblijft. Zelfs kurkdroog hout bevat nog zoveel vocht, welke bij de verbranding als waterdamp vrijkomt, dat bij geringe trek deze zuren worden geproduceerd. Creosootvorming treedt het hevigst op bij de efficiëntst werkende houtkachels. De rookgassen die de kachel verlaten, zijn zo sterk afgekoeld dat er condensatie optreedt in de pijp of de schoorsteen. Het zeer brandbare, krukdroge, vlokkerige of gebobbelde creosoot

is de brandstof in de schoorsteen bij een schoorsteenbrand.

Wanneer bij een slecht gedimensioneerde kachel, die een te grote capaciteit heeft, niet de brandstofhoeveelheid maar de toevoer van verbrandingslucht wordt verminderd, ontstaan nog grotere problemen dan bij een te klein vuur. Dat komt omdat de hoeveelheid onvolledig verbrande gassen in dat geval groter is. Een kachel die als bijverwarming of als sfeerverwarming wordt geplaatst is al gauw te groot. Bij een combinatie met een CV-installatie met radiatoren of plintverwarming wordt de waarneming door de kamerthermostaat beïnvloed en neemt de houtkachel de verwarming door de CV uiteindelijk wel over. Bij een combinatie met een vloerverwarming moet men zich realiseren dat de vloer vele uren warmte blijft leveren ook als daar door het stoken van de houtkachel geen enkele behoefte aan is. Wanneer de kachel of ketel met een warmtewisselaar is uitgerust ontstaan in de warmtewisselaar zogenaamde stilstandverliezen doordat er onvoldoende warmte wordt uitgewisseld van rookgas naar water of lucht. Het thermisch rendement holt dan achteruit. Bovendien condenseren onverbrande deeltjes en minerale vliegias op de oppervlakte van de warmtewisselaar waardoor deze vervuult. De warmteoverdracht verslechtert sterk en het rendement zakt nog verder onderuit.

- b. in de ruimte waarin de kachel staat moet voldoende verbrandingslucht worden aangevoerd. De ruimte moet ook goed worden geventileerd om verbrandingsgassen die zich eventueel in de ruimte kunnen ophopen af te voeren. Een kleine kachel verbruikt al snel 50 m³ verbrandingslucht per uur. Het is beter en efficiënter om de verbrandingslucht direct van buiten aan te voeren.
- c. de inlaatopeningen voor verbrandingslucht moeten voldoende groot zijn en vrij zijn;
- d. de verbrandingslucht moet op meerdere plaatsen in de kachel of te wel naar meerdere zones in de verbrandingsruimte worden aangevoerd. In sommige kachels kan de toevoer van primaire lucht, onderlucht en van secundaire lucht apart worden geregeld. Het verminderen van de toevoer verslechtert echter doorgaans de verbranding en verhoogt de uitstoot van onvolledig verbrande verbindingen. Het voorverwarmen van verbrandingslucht, wat in moderne kachels plaatsvindt, heeft een gunstig effect op de (na)verbranding.
- e. de verbrandingsruimte moet voldoende hoog of lang zijn. In lange, levendige, turbulente vlammen kan de zuurstof uit de verbrandingslucht de brandbare bestanddelen in het houtgas goed bereiken en oxideren. De toevoer van onderlucht draagt bij aan turbulentie in de vlammen en aan een goede uitbrand van gloeiende, koolresten op de bodem van de kachel.

5.1.2. Het ontwerp van het afvoersysteem van de verbrandingsgassen

- a. de schoorsteen moet bij voorkeur glad van binnen zijn, zo recht mogelijk en geïsoleerd. Turbulent rookgas in de schoorsteen levert veel weerstand op en daardoor vermindert de trek. Om de onderdruk aan de monding van de schoorsteen te handhaven of te wel om voldoende trek te hebben moet het rookgas zo min mogelijk afkoelen tijdens zijn weg door de schoorsteen.
- b. wanneer de trek in de schoorsteen structureel te laag is kan een rookgasventilator worden geïnstalleerd;
- c. de houtrook moet met voldoende snelheid worden afgevoerd (minimaal 0,5 m/s) om problemen door condensatie te voorkomen;
- d. de diameter van de schoorsteen moet zijn afgestemd op de gewenste rookgassnelheid en op de hoeveelheid verbrandingsgas die moet worden afgevoerd.

- e. de monding van de schoorsteen moet zo ver mogelijk van ramen en inlaatopeningen zijn geplaatst;
- f. de monding van de schoorsteen moet voldoende hoog zijn en vrij zijn;
- g. de rook moet goed in de atmosfeer kunnen opstijgen en/of door de wind kunnen worden afgevoerd en in de atmosfeer worden verdund. De afvoer mag niet worden gehinderd door daken, bomen of gebouwen.

5.1.3. De brandstof

- a. er dient alleen schoon en goed gedroogd hout van goede kwaliteit (hoge verbrandingswaarde, weinig geur, en lage asrest) te worden gestookt. Droog is in dit geval "luchtdroog" met 10-15 gew.% vocht. Er zijn eenvoudige en goedkope (circa 20 euro) metertjes op de markt waarmee het vochtgehalte van stookhout eenvoudig en snel kan worden gemeten. Te droog hout brandt, althans in een handmatig gestookte kachel met een natuurlijke trek, te snel waardoor er veel houtgas onverbrand de schoorsteen kan verlaten. Er zijn vele methoden en technieken om gekloofd hout en houtchips, op natuurlijke wijze of geforceerd, snel en goed te drogen. Het valt echter buiten het kader van deze rapportage om hier uitgebreid op in te gaan.
- b. er zijn houtsoorten die bij verbranding een sterke, irritante geur van de rook ontwikkelen. Daartoe behoren enkele inheemse houtsoorten en sommige tropische houtsoorten. In de bijlage is een overzicht opgenomen met enkele eigenschappen van een aantal inheemse houtsoorten.

5.1.4. Het stookgedrag en de bediening van de kachel

- a. er zou alleen moeten worden gestookt als er voldoende trek is in de schoorsteen. De onderdruk in de schoorsteen zorgt voor de aanvoer van verbrandingslucht naar het vuur en voor de afvoer van het rookgas. Naast het ontwerp en de instelling van de kachel en van de schoorsteen spelen de weersomstandigheden een belangrijke rol bij de trek. Bij mistig weer, een hoge luchtvochtigheid in combinatie met een zwakke wind of windstilte en bij hoge buitentemperaturen kan het stoken beter achterwege worden gelaten;
- b. de stukken stookhout mogen niet te groot zijn en moeten gekloofd zijn. De gekloofde stukken moeten los op elkaar in de verbrandingsruimte worden gestapeld zodat het houtgas snel en gemakkelijk in contact kan komen met de verbrandingslucht. Daarbij moet bedacht worden dat datgene wat brandt niet het hout zelf is maar houtgas dat wordt gevormd ten gevolge van de verhitting van hout. De zuurstof moet het houtgas van alle kanten kunnen bereiken.
- c. de toevoer van verbrandingslucht mag niet (teveel) geknepen worden waardoor het vuur kan verstikken. Dat heeft een sterke toename van de uitstoot van onvolledig verbrande verbindingen tot gevolg. De warmtevraag moet met de hoeveelheid brandstof worden geregeld en niet met de toevoer van zuurstof. Met andere woorden als de kachel te warm wordt dan moet er minder brandstof op het vuur, er moet een raam of deur worden opengezet maar men moet zeker niet de luchttoevoer naar het vuur afsluiten. Veel stookhout gestookte ketels met een warmtewisselaar voor de productie van warm water of warme lucht hebben een thermostatische of een zogenaamde Lambda geregelde toevoer van verbrandingslucht. De regeling bewaakt de temperatuur in de ketel en het zuurstofgehalte in het afgas en verlaagt de toevoer van verbrandingslucht naar het vuur wanneer de warmtevraag vermindert. Het in de verbrandingskamer aanwezige hout blijft

daarbij echter vergassen. Er ontstaat een tekort aan zuurstof en een groot deel van het houtgas verlaat onverbrand de schoorsteen. Dit kan veel rook- en stankoverlast geven. Bij kachels- en ketels die op houtpellets of houtsnippers worden gestookt wordt de toevoer van brandstof gestopt wanneer er geen warmtevraag is. Het vuur dooft snel en er komt geen houtgas meer vrij. Dergelijke ketels hebben een veel lagere uitstoot.

5.2. Secundaire maatregelen

Deze maatregelen zijn gericht op het afscheiden en opvangen van fijnstof en het omzetten van koolmonoxide en van onvolledig verbrande verbindingen waaronder geurstoffen.

Onder fijnstof in houtrook worden roetdeeltjes (organisch fijnstof) en inerte, minerale bestanddelen verstaan. Organisch fijnstof in de vorm van roetdeeltjes kan visueel worden waargenomen als zwarte, bruine of geelbruine kleur van de houtrook. Minerale bestanddelen als fijnstof in de rook zijn oxiden van anorganische stoffen (kalium, natrium, etc) en hebben doorgaans een witte of lichtgrijze kleur. Dit fijnstof is bij een nagenoeg volledige verbranding als lichtgrijze rook waarneembaar. Bij een onvolledige verbranding condenseren veel koolwaterstofverbindingen op de deeltjes minerale fijnstof waardoor dit fijnstof door het roet wordt ingekapseld. Bij de afscheiding van roetdeeltjes wordt dus tevens een belangrijk deel van de minerale fijnstof afgescheiden. De component roet is bij een onvolledige verbranding van hout sterk in de houtrook oververtegenwoordigd ten opzichte van minerale fijnstof waardoor met de verwijdering van roet fijnstof reducties tot 90% kunnen worden bereikt.

Roet kan chemisch worden ontleed (gekraakt) en worden geoxideerd, roet is paramagnetisch en fijnstof kan elektrostatisch worden geladen. Verscheidene systemen maken gebruik van deze eigenschappen. Koolmonoxide kan door oxidatieve of katalytische naverbranding worden geoxideerd tot kooldioxide. Vluchtige onvolledig verbrande verbindingen kunnen worden gecondenseerd, worden naverbrand of katalytisch worden gekraakt en geoxideerd tot water en kooldioxide.

Er bestaan technieken voor kachels en voor kleinere ketels om de uitstoot te verminderen. Deze technieken zijn gebaseerd op elektrostatische afscheiding, op filtering en mechanische afscheiding, op condensatie en op thermische en katalytische naverbranding. Het principe van deze technieken wordt navolgend verklaard, de voor- en nadelen worden opgesomd, de uitvoeringstypen worden beschreven en de leveranciers worden met hun producten in een overzicht gepresenteerd. Bij de secundaire maatregelen worden alleen technieken en systemen genoemd welke in Europa worden vervaardigd en/of geleverd en toepasbaar zijn op kachels en stookinstallaties voor hout met een relatief klein vermogen tot enkele honderden kW. Omvangrijke rookgasreiningsinstallaties welke meerdere reinigingsstappen toepassen, gecompliceerde, volumineuze systemen of installaties welke hoge investeringskosten vragen worden niet beschreven. Hierbij valt te denken aan primaire, secundaire en/of natte cyclonen, natte elektrostatische afscheiders, biofilters, scrubbers (natwassers), etc.

5.3. Beschrijving van houtrook-reinigingstechnieken

5.3.1. Elektrostatische afscheiding

Met deze techniek kunnen vaste deeltjes, bestaande uit roet en uit inerte minerale bestanddelen (organisch en mineraal fijnstof), uit houtrook worden afgescheiden door ze een elektrostatische lading te geven voordat ze in de rook de schoorsteen verlaten. Daartoe wordt in het hart van een stalen schoorsteenpijp een elektrode geplaatst in de vorm van een metalen draad of een bolletje. Op deze elektrode wordt middels een hoogspanningsgenerator een gelijkspanning van enkele tientallen kilovolt aangebracht. Rondom de elektrode ontstaat een sterk elektrisch geladen veld. Het fijnstof dat in dit veld terecht komt wordt negatief geladen. Het negatief geladen fijnstof beweegt zich naar de positief geladen metalen kachelpijp of naar een speciale collector. De lading wordt daar afgegeven en het fijnstof blijft achter op de wand van de kachelpijp of in een aparte kamer met een collector voor het fijnstof. De kachelpijp komt niet onder stroom te staan die bij aanraking van het metaal gevaar zou kunnen opleveren. Er zijn systemen waarbij het vlieggas handmatig uit de kachelpijp moet worden verwijderd. Bij andere systemen wordt het vlieggas automatisch met een roterende borstel of door trilling uit de collector losgemaakt waarna het in een opvangbak valt. Het fijnstof moet in ieder geval regelmatig uit het schoorsteensysteem worden verwijderd.

De hoogspanningsgenerator kan als onderdeel los staan van het systeem of zijn geïntegreerd in de schoorsteen. Er is ook een systeem welke is geïntegreerd in een kachel. Als los onderdeel van het systeem moet de kabel voor het transport van de hoogspanning zo kort mogelijk te houden en moet de unit zo dicht mogelijk bij de elektrode worden opgesteld. Het is belang dat de elektrode vrij blijft van stof om te voorkomen dat de sterkte van het veld vermindert of dat er een spanningsbrug met vonkoverslag ontstaat. Om de elektrode stofvrij te houden wordt er continue lucht langs geblazen. De unit met de generator bevat daartoe ook een kleine ventilator. De lucht wordt door een slang en een buis naar de kachelpijp met de elektrode gebracht.

Er is voor dit systeem een aansluiting op het stroomnet nodig. Het stroomverbruik is afhankelijk van de capaciteit van het systeem. Het vermogen voor kleine kachels is enkele tientallen Watt. Het extra verbruik door een motor die een roterende borstel aandrijft bedraagt 10 tot 20 Watt. Het afscheidingsrendement voor fijnstof is sterk afhankelijk van de hoogte van de spanning, van het vermogen van het systeem. Het afscheidingsrendement van fijnstof PM_{10} en $PM_{2,5}$ kan tot 95% bedragen. Resultaten van onafhankelijke testen van verschillende systemen van meerdere fabrikanten leveren een gemiddeld afscheidingsrendement van 60% op. Vooral in Duitsland wordt veel aandacht besteed aan de ontwikkeling van de elektrostatische filter omdat er richtlijnen op komst zijn waardoor in het bijzonder de uitstoot van fijnstof moet worden beperkt. Vanaf 2012 treedt de eerste fase van de Novelierung van de eerste Bundes-Immissionsschutzverordnung in werking.

5.3.2. Fysische en mechanische afscheiding

Fijnstof kan in een aparte kamer van de kachel of de ketel worden uitgefilterd, worden afgescheiden met bijvoorbeeld een cycloon of een doekfilter of in de schoorsteen spontaan worden afgescheiden van het afgas. Fijnstof dwarrelt neer en wordt verzameld of zet zich af tegen wanden in een ketel of in een schoorsteen. De as en roet kunnen in ketels automatisch met bijvoorbeeld een bewegende borstel worden verwijderd. Bij schoorstenen zal dit doorgaans handmatig door vegen gebeuren.

5.3.3. Condensatie

Bij de verbranding van hout komt water vrij. Een deel van het water was fysisch en chemisch gebonden in het hout, verdampt en wordt als waterdamp in de rook meegevoerd. Bij een kleine kachel en een verbruik van circa 3 kg luchtdroog hout per uur komt circa 0,5 liter/uur water vrij. Er wordt ook water gevormd als resultaat, of beter gezegd, als product van de verbranding. De belangrijkste elementen van hout zijn immers koolstof, zuurstof en waterstof. Wanneer waterstof een verbinding aangaat met zuurstof, ontstaat water. Wanneer hout volledig zou worden verbrand, bestaat het verbrandingsproduct hoofdzakelijk uit water, koolstofdioxide, stikstof en een kleine hoeveelheid oxiden van de anorganische bestanddelen en metalen in hout. Bovendien bevat de lucht die voor de verbranding wordt aangevoerd ook water. Eén kubieke meter omgevingslucht bevat bij een normale luchtvochtigheid circa 6 gram water. Bij een kleine kachel met een verbruik van circa 50 m³ lucht per uur wordt dus circa 0,3 liter water met de verbrandingslucht aangevoerd. Grotere kachels en ketels kunnen met de houtrook vele tientallen liters water per uur uitstoten. In een koude atmosfeer condenseert dit water boven de monding van de schoorsteen en vormt een witte condenswolk.

Wanneer de temperatuur van de houtrook voor het verlaten van de schoorsteen sterk afkoelt en onder het zogeheten dauwpunt komt, condenseert het water in de kachel, de ketel of de schoorsteen. Dit is normaal gesproken een zeer onwenselijke situatie omdat het water voor veel narigheid kan zorgen. Gemetselde schoorsteenkanalen kunnen doorslaan of stukvriezen wanneer bij vorst het water bevriest en uitzet in de stenen. Houtrook bevat ook zure verbindingen en stoffen die in verbinding met water een zuur vormen. De zuurgraad van dit condenswater is niet neutraal. Er zitten veel verschillende zuren in en het water is agressief voor metaal en voor metselwerk. Wanneer bij het aansteken van de kachel de schoorsteen nog koud is zal water onvermijdelijk condenseren tegen de schoorsteenwand. Het zure water loopt langs de binnenwand van de pijp naar beneden, voert roet- en teerdeeltjes mee en verwordt tot een zure creosoot. Schoorsteenkanalen voor houtkachels uit aluminium en andere minder zuurbestendige materialen zijn daarom ongeschikt. Een warme en geïsoleerde schoorsteen kan veel ellende voorkomen. Wanneer de schoorsteen door koude ruimten gaat en buiten de woning of gebouw komt verdient het aanbeveling geïsoleerde roestvast stalen schoorstenen toe te passen.

Bij stookinstallaties met een warmtewisselaar wordt getracht zoveel mogelijk warmte uit het verbrandingsgas te halen en daarmee een zo hoog mogelijk thermisch rendement van de installatie te behalen. Bij een installatie met een metalen warmtewisselaar kan men daarmee echter niet te ver gaan, omdat voorkomen moet worden dat het gasvormige water condenseert en de metaaldelen van de installatie aantast.

Eén systeem maakt echter gebruik van het condensatieverschijnsel en koelt het rookgas doelbewust zover af tot het water condenseert. Bij de condensatie zelf komt veel warmte vrij. Het thermisch rendement is daardoor hoog. De warmtewisselaar is daarbij vervaardigd uit geïmpregneerd grafiet. Dit materiaal wordt niet aangetast door het zure condenswater. In de “koele” atmosfeer van de warmtewisselaar condenseren ook vluchtige metalen, koolwaterstofverbindingen, zouten, enz. Het condenswater kan ook veel fijnstof opnemen waardoor de warmtewisselaar tevens functioneert als een zogeheten natte wasser. Het condenswater bevat vele verbindingen en moet als sterk vervuild water worden opgevangen en worden behandeld. De rook is zover afgekoeld dat deze niet meer middels een natuurlijke trek maar met een, door een rookgasventilator opgebouwde, geforceerde trek moet worden afgevoerd.

5.3.4. Natte wassing

Tot voor kort was er een systeem op de markt waarbij eerst in een warmtewisselaar restwarmte uit de houtrook werd onttrokken. De temperatuur van de houtrook daalt daarbij tot vlakbij het condensatiepunt van water. Vervolgens werd de houtrook door een waternevel geleid waarbij veel fijnstof zich hechtte aan de waterdruppeltjes. De druppels vielen in een opvangbak en het water met fijnstof en andere, al dan niet, opgeloste verbindingen, kon uit het systeem worden verwijderd. Naar verluidt is het systeem kortgeleden door de leverancier uit de markt genomen omdat de zuurgraad en de samenstelling van het water in de praktijk te veel problemen opleverden voor het systeem en voor de afvoer. Op dit systeem wordt in dit rapport niet nader ingegaan.

Er is wel een systeem op de markt waarbij de waternevel elektrostatisch wordt geladen om het afscheidingsrendement verder te verhogen.

5.3.5. Thermische naverbranding in de kachel of de ketel

Onvolledig verbrande verbindingen kunnen alsnog, voordat ze definitief de kachel verlaten, in een aparte zone, worden naverbrand. Er zijn kachels op de markt waarbij in een aparte naverbrandingskamer extra verbrandingslucht wordt toegevoerd. Wanneer de temperatuur hoog genoeg is kunnen koolmonoxide en koolwaterstofverbindingen worden geoxideerd.

5.3.6. Katalytische naverbranding

Het woord katalysator komt van het Griekse: katalysis = ontleding. In een katalysator voor houtkachels worden onvolledig verbrande verbindingen die in de houtrook zitten ontleed. De katalysator zelf wordt daarbij niet verbruikt. Edelmetalen die op het oppervlak van de katalysator zijn aangebracht en een zekere temperatuur zorgen er voor dat verbindingen die in contact komen met het oppervlak instabiel worden. Aan het oppervlak wordt de energie, die de verbindingen intact houdt, aan de verbinding onttrokken. De verbinding valt uit elkaar, het molecuul wordt "gekraakt". De afzonderlijke elementen van de verbinding worden met zuurstof geoxideerd of te wel katalytisch naverbrand. Deze "verbranding" speelt zich af zonder vuur en bij temperaturen van circa 100 - 340 °C. Ook stabiele, resistente, langketige verbindingen zoals PAK's worden gekraakt. De bouwstenen van koolwaterstofverbindingen, waterstof en koolstof, worden geoxideerd tot water en koolstofdioxide. Er is dan sprake van een zogenaamde totaaloxidatie. Bij een totaaloxidatie van houtrook zouden er slechts - afgezien van minerale stofdeeltjes - reukloze, kleurloze en onschadelijke verbindingen, met name water en koolstofdioxide, uit de schoorsteen komen. Voorwaarde voor een geslaagde katalytische oxydatie is wel dat alle verbindingen in contact komen met het katalytisch actieve oppervlak en dat zuurstof in voldoende mate aanwezig is. Bij de praktische toepassing van katalysatoren bij houtrook wordt een totaaloxidatie nooit bereikt, ondermeer omdat de rook meestal te snel door de katalysator gaat. De verblijfstijd van de rook in de katalysator kan worden verlengd maar dan is meer katalysatoroppervlak en/of meer katalysatorvolume nodig. Dit resulteert echter in een zodanig hoge weerstand in de katalysator dat de behandelde rook alleen met een krachtige rookgasventilator via de katalysator door de schoorsteen naar buiten kan worden gevoerd. Daardoor wordt het systeem omvangrijk, de installatiekosten en het energieverbruik worden hoog.

Bij de oxidatie komt warmte vrij en deze warmte helpt om de katalysator zelf op of boven de minimale bedrijfstemperatuur te houden.

Eén katalysatorsysteem maakt gebruik van volledig metalen katalysatoren die in een kachelpijp direct na de kachel worden geplaatst. In de behuizing van de katalysator is een zogenaamd roetfilter opgenomen welke volledig omringd is door katalysator materiaal. De werking van dit roetfilter is gebaseerd op een elektromagnetisch veld welke, door de toepassing van speciale metalen, onder invloed van temperatuur in de katalysator wordt opgebouwd. Roetdeeltjes zijn paramagnetisch en het roetfilter vangt de PAK's welke aan minerale fijnstofdeeltjes in het rookgas tot vaste stof (roet) zijn gecondenseerd. Deze roetdeeltjes worden vervolgens door het omringende katalysator materiaal gekraakt en geoxideerd. Hierdoor wordt de uitstoot van fijnstof aanzienlijk teruggebracht.

Het minerale bestanddeel van de vliegias en de minerale asrest van de katalytische naverbranding welke in de katalysator achterblijft bedekt op den duur het katalytisch actieve oppervlak dusdanig dat het rendement van de katalysator terugloopt. Deze minerale as -inerte anorganische verbindingen met als hoofdbestanddeel kalium - moeten met enige regelmaat uit de katalysator worden verwijderd. De meest efficiënte methode is het uitspoelen van deze - niet milieubelastende - verbindingen met water. Reinigen met (pers-)lucht zou een ongewenste, ongecontroleerde verspreiding van de as als fijnstof tot gevolg hebben. De cartouche is om die reden uitneembaar zodat deze in een emmer water of onder stromend water kan worden gereinigd van de minerale as.

Er zijn katalysatoren op de markt welke bestaan uit blokken keramisch materiaal met daarin vele kleine kanaaltjes. De wanden van deze kanaaltjes zijn voorzien van een laagje edelmetaal, veelal platina. Deze katalysatoren zijn qua ontwerp vergelijkbaar met de katalysatoren in auto's. Vooral in Noord-Amerikaanse landen is ervaring opgedaan met deze katalysatoren. De ervaring is helaas dat de kanaaltjes snel verstopten met roet en vliegias en lastig weer vrij te maken zijn. Bovendien ontstaan in de kanaaltjes hevige wervelingen van de rook waardoor er een grote weerstand of te wel een hoog drukverlies opgebouwd wordt. In geval van een natuurlijke trek in de schoorsteen kan dit een groot probleem zijn. De keramische katalysator is niet bestand tegen hoge temperaturen en mag zeker niet in contact komen met vlammen. Om beschadiging te voorkomen moeten deze door een vlam-omleidingsplaat boven het vuur worden beschermd. Wanneer er veel water in de rook zit, doordat het hout bijvoorbeeld niet droog genoeg is, kan de keramische katalysator snel afkoelen. Wanneer deze vervolgens weer temperatuur krijgt kan deze ten gevolge van de temperatuurshock ernstig beschadigd raken. De kachels moeten daarom worden aangepast voor inbouw van een keramische katalysator en deze katalysatoren zijn dan ook niet erg populair.

Een katalysator welke volledig uit metaal is vervaardigd heeft deze nadelen niet.

De metalen katalysator is bestand tegen hoge temperaturen en heeft geen kanaaltjes welke kunnen verstopten. Bovendien is de katalysator al actief bij lage temperaturen en wordt er bij aansteken van de kachel, de zogenaamde "koude start", al snel rook omgezet. Het welhaast belangrijkste voordeel is dat de metalen katalysator andere edelmetalen gebruikt, er veel hogere percentages onverbrande deeltjes worden omgezet en de katalysator bovendien goedkoper is en langer meegaat.

5.4. Voor- en nadelen van de verschillende secundaire maatregelen

5.4.1. Elektrostatische afscheiding

De elektrostatische filters of electro-static precipitator (ESP) halen gemiddeld 60% fijnstof uit het rookgas maar er kwamen tijdens recente vergelijkende testen bij instituten in Denemarken en Duitsland ook nadelen naar voren. De belangrijkste nadelen die uit testen naar voren zijn gekomen:

- de meeste klachten van omwonenden betreffen overlast door geur en niet door fijnstof. De ESP laat de geurstoffen ongemoeid;
- het fijnstof dat door de ESP tegen de binnenwand van de schoorsteen wordt vastgehouden moet, bij manuele systemen, regelmatig door schoorsteenvegers worden verwijderd. Dat is omslachtig en duur;
- het fijnstof bevat veel vrije koolstof, is licht ontvlambaar en vergroot de kans op schoorsteenbrand;
- de elektroden worden schoon gehouden worden door er lucht langs te blazen. Deze luchttoevoer stopt niet automatisch bij een schoorsteenbrand hetgeen de brand verergert;
- de EPS vermindert niet de uitstoot van CO, PAK's, vluchtige organische verbindingen, dioxines, etc;
- het door de EPS verzamelde fijnstof bevat kankerverwekkende PAK's. Strikt genomen moet dit fijnstof worden beschouwd als chemisch afval;
- door de radicalen in het elektrostatisch veld ontstaan polymeren uit aromaten met andere woorden er worden extra PAK's aangemaakt in de houtrook;
- als er zich veel roet in de buurt van de elektrode verzamelt ontstaat vonkoverslag. Elke getest apparaat had daar last van. Vonkoverslag gaat gepaard met veel lawaai. De onderzoekers vergeleken het geluid met een brommer die zonder uitlaat rijdt;
- vanwege de geluidsoverlast door vonkoverslag en door de ventilator kan een EPS niet in een woonruimte worden geplaatst;
- alle EPSen vertoonden veel storingen en als ze op de schoorsteenmondning zitten is dat erg lastig. De schoorsteen mag in geen geval meer dan circa 1,5 m. boven het platte dak uitsteken omdat men er anders niet bij kan voor onderhoud. Op schuine daken kan het systeem eigenlijk niet geplaatst worden;
- de prijs van het kleinste systeem bedraagt circa Euro 1.200;
- in Denemarken geldt een eis dat een filter ook tijdens en na een schoorsteenbrand moet werken. Een EPS gaat definitief kapot bij een brand;
- de EPS is tijdens de testen niet betrouwbaar gebleken. Er waren veel storingen. De elektrodes moesten vervangen worden en niemand weet hoe lang ze in de praktijk meegaan;
- het systeem heeft een elektrische aansluiting nodig en verbruikt stroom.

5.4.2. Fysische en mechanische afscheiding

Net als bij elektrostatische filters wordt alleen een deel van het fijnstof afgescheiden.

Geurstoffen worden nauwelijks verwijderd, koolmonoxide en vluchtige organische verbindingen worden niet of nauwelijks afgescheiden.

5.4.3. Condensatie

Het systeem is ontworpen als speciale warmtewisselaar van grafiet voor ketels.

Doordat de temperatuur van het rookgas in de warmtewisselaar sterk wordt verlaagd is het thermisch rendement van een ketelinstallatie hoog.

Geurstoffen worden nauwelijks verwijderd, koolmonoxide en vluchtige organische verbindingen worden niet of nauwelijks afgescheiden.

Het condenswater met het fijnstof en opgeloste of meegevoerde verbindingen is sterk verontreinigd.

5.4.4. Naverbranding in de kachel of de ketel

Dit is wel de meest eenvoudige en goedkope maatregel om organische verbindingen te oxideren voordat deze met het afgas de schoorsteen in gaan en worden uitgestoten in de atmosfeer.

Organisch fijnstof kan ook worden naverbrand.

Mineraal fijnstof wordt ongemoeid gelaten en wordt niet afgevangen.

Voor een effectieve naverbranding is temperatuur, zuurstof en een zekere verblijfstijd nodig van de houtrook in een naverbrandingszone in de kachel.

Ook een minder effectieve naverbranding draagt bij aan de vermindering van de uitstoot maar is als enkelvoudige maatregel onvoldoende om overlast en milieubelasting te voorkomen.

5.4.5. Katalytische naverbranding

Een katalysator kan organische verbindingen, bij een relatief lage temperatuur, met een hoog rendement katalytisch naverbranden. Het omzettingsrendement voor organische verbindingen, inclusief organisch fijnstof, kan hoog zijn. Bij een metalen katalysator met een roetfilter kan dit in de praktijk tot 95% bedragen. Het betreft daarbij koolmonoxide, cyclische en polycyclische verbindingen, organisch fijnstof en vele andere organische verbindingen. De verbindingen worden omgezet in het kleur- en geurloze water(damp) en koolstofdioxide.

Verbindingen die verantwoordelijke zijn voor de geur en de geuroverlast kunnen worden geoxideerd. Na een effectieve katalytische naverbranding is de typische geur van houtrook geneutraliseerd. De geur is bij de monding van de schoorsteen niet meer waarneembaar of terug te voeren op houtrook.

Mineraal fijnstof blijft voor een deel achter in de katalysator. Dit stof moet regelmatig worden verwijderd omdat het anders de actieve oppervlakte van de katalysator afdekt. Bij een katalysator uit keramisch materiaal of metaal met kanaaltjes of met een poreuze structuur (monoliet of schuimkeramiek) moet door regelmatig onderhoud voorkomen worden dat de doorlaatbaarheid ervan voor de houtrook te sterk vermindert. Een metalen katalysator met grove, goed doorlatende, metaalspanen moet ook met enige regelmaat van de verzamelde minerale fijnstof worden bevrijd. Deze zal echter niet snel verstopt raken als het onderhoud achterwege blijft.

Er is sprake van een zogeheten exotherm proces waarbij energie in de vorm van warmte vrijkomt. Deze extra warmte komt ten goede aan de katalysator zelf of aan de trek en/of wordt afgegeven aan de kachel, de warmtewisselaar of aan de schoorsteen.

Een katalysator is relatief goedkoop. Een metalen katalysator in een kachelpijp die eenvoudig op een bestaande kachel wordt geplaatst is verkrijgbaar vanaf circa 300 euro. Alle andere systemen zijn duurder. Katalysatoren die worden geïntegreerd in een kachel kunnen doorgaans niet in een bestaande kachel worden geplaatst. Deze worden geleverd in nieuwe kachels.

Door de plaatsing van een katalysator wordt de weerstand voor de houtrook in de kachel of de schoorsteen vergroot. De trek vermindert daardoor en dus ook de aanvoer van verbrandingslucht. Daardoor kan het voorkomen dat de verbranding in de verbrandingsruimte voor de katalysator minder goed verloopt waardoor met name de concentratie aan CO kan oplopen. Bij een katalysatorsysteem met een voorgeschakeld keramisch fijnstof-filter worden ook organische verbindingen naverbrand in het filter. Die verbranding is niet altijd volledig en het verbrandingsresidu is in dat geval met name CO. De extra hoeveelheid koolmonoxide moet door de katalysator worden geoxideerd tot koolstofdioxide. Onvoldoende trek in de schoorsteen levert problemen op voor een katalysator.

Om langketige verbindingen, zoals PAK's, en roet goed af te kunnen breken en om te kunnen zetten is een katalysator-temperatuur van minimaal circa 350 °C vereist. Deze temperatuur is bij het aansteken van de kachel nog niet aanwezig en er zijn kachels en omstandigheden waarbij deze optimale bedrijfstemperatuur niet of moeilijk wordt gehaald en/of in stand wordt gehouden.

De katalysator is wat betreft de organische verbindingen zelfreinigend, althans bij voldoende temperatuur, zuurstof en wanneer de actieve oppervlakte niet geheel afgedekt is met minerale fijnstof. Een katalysator die tijdens het aansteken of uitbranden van de kachel wordt "beroet" "brandt" zichzelf weer schoon.

Een keramische katalysator is doorgaans slecht bestand tegen snelle en hoge temperatuurwisselingen die bijvoorbeeld kunnen voorkomen wanneer slecht gedroogd hout wordt gestookt. Het keramische dragermateriaal kan dan breken. Bij een nieuw ontwerp kachels met een fijnstoffilter uit schuimkeramiek die boven de verbrandingsruimte is geplaatst is het al voorgekomen dat de plaat scheurde en zelfs doorbrak. Metalen katalysatoren kennen deze problemen niet.

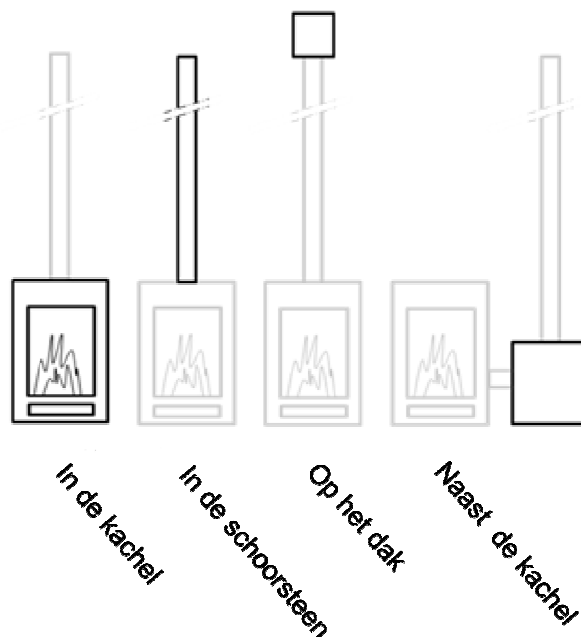
5.5. Beschrijving van uitvoeringstypen

In het onderhavige hoofdstuk wordt ingegaan op secundaire technieken welke op de markt zijn. Wij maken bij de inventarisatie van de technieken en de vermelding van bedrijven een voorbehoud. Het voorbehoud betreft de volledigheid van technieken en van bedrijven. Er wordt ongetwijfeld buiten de openbaarheid op veel plaatsen aan de ontwikkeling en/of verbetering van technieken gewerkt. Er zijn vele bedrijven welke kachels, ketels en systemen op de markt brengen welke in dit rapport niet worden genoemd. Het streven naar het presenteren van een volledig overzicht van Europese producenten en importeurs van verbrandingsinstallaties voor hout en andere biomassa en van houtrookreinigingssystemen valt echter buiten het kader van dit rapport.

De uitvoeringen van houtrookreinigingstechnieken zijn te onderscheiden in:

- systemen die geïntegreerd zijn in kachels en ketels. Deze systemen worden met een nieuwe kachel of ketel geleverd;
- systemen die aan een nieuwe of bestaande, reeds geïnstalleerde kachel of ketel kunnen worden aangesloten. Deze systemen worden in een schoorsteenkanaal of op de monding daarvan gemonteerd.

In het onderstaande plaatje is de plaats van de vier varianten in de kachel of de schoorsteen weergegeven.



De systemen zijn gericht op:

- het afvangen van fijnstof (roet en minerale as)
- op zowel het afvangen van fijnstof en het omzetten van roet en CO
- op het afvangen van zowel fijnstof als het omzetten van roet en CO en geurstoffen

De kosten van de systemen, de eenvoud van de inbouw, de invloed op het verbrandingsproces, het onderhoudsniveau, de bedrijfszekerheid, de prestaties en de levensduur lopen ver uiteen. Bij een vergelijking van de systemen zullen deze aspecten aan de orde komen.

Kosten: de kosten van een systeem betreffen de aanschafkosten en de bedrijfskosten. Daaronder worden de kosten voor onderhoud, vervanging van onderdelen en de afschrijving begrepen. Over de aanschafkosten kan een leverancier duidelijk zijn. De aanschafkosten variëren van de aanschaf van een nieuwe kachel van enkele duizenden Euro's tot het aanschaffen van een kort stuk kachelpijp met een systeem van enkele honderden Euro's. Omdat er met de meeste systemen slechts over een korte periode ervaring is opgedaan zal de leverancier slechts met grote terughoudendheid of voorzichtigheid uitspraken kunnen doen over de bedrijfskosten. Het is daarom raadzaam duidelijke condities ten aanzien van garantie af te spreken.

Eenvoud: de installatietechnische vereisten voor de inbouw van het systeem variëren van het vervangen van een groot deel van het schoorsteenkanaal en het leggen van elektriciteitskabels tot het uitwisselen van een kort stuk kachelpijp boven de kachel.

Invloed op het verbrandingsproces: het aanbrengen van een technische voorziening in de kachel of in de schoorsteen beïnvloedt, afhankelijk van het systeem, in min of meerdere mate het verbrandingsproces en de afvoer van de verbrandingsgassen. Het aanbrengen van een technische voorziening in de rookgasafvoer kan vooral een drukverlies of te wel een verminderde schoorsteentrek tot gevolg hebben. Dat kan worden gecompenseerd door het plaatsen van een rookgasventilator. In situaties met een natuurlijke trek zal het vuur minder zuurstof kunnen krijgen waardoor er extra uitstoot ontstaat. Deze extra uitstoot moet worden verwerkt door het reinigingssysteem.

De invloed op de trek is het grootst bij systemen waarbij de houtrook door een filter moet en het geringst bij elektrostatische filters (e-filters). Bij sommige typen e-filters kan er, door aangroei van stof op de binnenwand een vernauwing optreden van het schoorsteenkanaal. Daardoor stijgt de rookgassnelheid of kan er minder rookgas worden afgevoerd. Er zijn landen, waaronder Denemarken en Zwitserland, waar het in beginsel niet is toegestaan iets in de schoorsteen in te bouwen wat de afvoer van het rookgas negatief zou kunnen beïnvloeden.

Onderhoud: alle systemen vangen fijnstof af en dit moet regelmatig uit het systeem worden verwijderd. De wijze waarop het fijnstof wordt verzameld verschilt sterk bij de systemen. Het fijnstof zet zich af tegen een schoorsteenwand, wordt verzameld in een reservoir onderin de schoorsteen, in een aslade of asbak, in een waterreservoir of in een katalysator. De frequentie waarmee het fijnstof uit het systeem moet worden verwijderd hangt af van de opslagcapaciteit en van het soort brandstof.

Bedrijfszekerheid: ook hier geldt dat robuust uitgevoerde systemen die uit weinig onderdelen bestaan en geen elektrische of mechanische onderdelen hebben het meest bedrijfszeker zullen zijn. Goed onderhoud en vooral het frequent reinigen van het systeem vergroot de bedrijfszekerheid.

Prestaties: de prestaties kunnen beoordeeld worden op basis van metingen en op basis van visuele waarnemingen. Met het laatste wordt bedoeld dat de afwezigheid van zichtbare rook een indicatie kan zijn van een goede verbranding en een goed werkend systeem. Wanneer de geur van het afgas bovendien neutraal is dan kan er van worden uitgegaan dat de uitstoot relatief laag is en in ieder geval geen geuroverlast veroorzaakt. Vele belastende verbindingen en fijnstof zijn echter niet visueel waarneembaar en hun aanwezigheid kan alleen door meten en chemische en fysische analyse worden vastgesteld.

In verband met de inwerkingtreding van nieuwe emissierichtlijnen voor houtgestookte voorzieningen

in Duitsland vanaf 2015 wordt er, in ieder geval in Duitstalige landen, momenteel veel aandacht besteed aan de ontwikkeling en verbetering van systemen. In de Novellierung van de 1^e BImSchV (Bundes Immissionsschutz Verordnung) zijn richtlijnen opgenomen voor de uitstoot van CO en fijnstof. De geurbelasting van de houtrook is geen item in de richtlijnen. Om de prestaties van een systeem te beoordelen en vast te stellen of deze voldoen aan emissierichtlijnen moet er gemeten worden. Bij dit meten en bij de analyse van monsters komt echter heel wat kijken. Temeer omdat het genormaliseerd moet worden zodat de uitkomsten van alle metingen op de zelfde wijze beoordeeld en getoetst kunnen worden. Het standaardiseren van meetmethoden en van meet- en analyseapparatuur, het zorgvuldig kalibreren van apparatuur, enz. volstaat helaas niet om representatieve metingen te doen. Elke kachel, iedere schoorsteen, alle weersomstandigheden, ieder vuur, elk stuk hout, enz. is weer anders. Vervolgens is de vraag op welke plaats in de kachelpijp of de schoorsteen de meetsondes worden geplaatst. Gebeurt dit te dicht bij de wand of bij een bocht dan is de stroming van het rookgas door turbulentie verstoord en leidt meten en monsternamen tot fouten. Alleen de meetsonde al kan de stroming in de schoorsteen verstoren en de meting beïnvloeden. Daarnaast moeten de slangen van de sonde naar de monsternamen- of analyseapparatuur dezelfde lengte hebben en verwarmd zijn. Dit om te voorkomen dat verbindingen condenseren op de binnenwand van de slang en vervolgens niet gemeten worden. Representatief meten is op dit moment eigenlijk alleen mogelijk onder laboratoriumomstandigheden in een technicum bij een zogeheten normverbranding. Het rendement van verbrandingstoestellen wordt nu ook in het algemeen bij een normverbranding gemeten. Bij een normverbranding wordt een gelijke gewichtshoeveelheid beukenhout, met een zelfde vochtgehalte, in stukken van ongeveer dezelfde grootte op dezelfde wijze en dezelfde plaats in de verbrandingsruimte geplaatst en bij hetzelfde zuurstofgehalte en dezelfde (geregelde) onderdruk in de schoorsteen verbrand.

Momenteel wordt er in Duitsland nog druk onderzocht en gediscussieerd over alle aspecten van het meten en analyseren van houtgestookte kachels en ketels die genormaliseerd moeten gaan worden. Het wordt een lastige opgave om daarin een Duitse eenheid te vormen die het uiteindelijk mogelijk moet maken om de meer dan 15 miljoen houtkachels en –ketels in Duitsland te toetsen. De schoorsteenvegers in Duitsland die over het algemeen goed zijn opgeleid, gecertificeerd zijn en goed zijn georganiseerd, zullen bij de handhaving van de richtlijnen een grote rol gaan spelen. Op dit moment kijken ze nog aan tegen de hoge investeringskosten van meetapparatuur. CO-meters zijn relatief goedkoop en worden al door vrijwel alle schoorsteenvegers in Duitsland gebruikt. Apparatuur om fijnstof te meten kost echter nu al gauw meer dan 50.000 euro en het is vooralsnog niet duidelijk of de huidige apparatuur straks ook gebruikt kan worden.

Vervolgens moeten de verkregen meetresultaten getoetst worden aan de richtlijnen. De doelstelling van de richtlijn voor houtgestookte installaties is te komen tot een vermindering van de belasting voor gezondheid en milieu. Een elektrostatisch filter verwijdert fijnstof, breekt geen CO af en vermindert niet de geur. Een katalysator verwijdert minder fijnstof maar neutraliseert de geur en breekt PAK's af. Welke van de twee systemen draagt het meest bij aan de vermindering van de belasting voor milieu en gezondheid op grond van korte en lange termijn effecten? Ander voorbeeld: een katalysator kraakt carcinogene langketige koolwaterstofverbindingen (kankerverwekkende verbindingen). Er is daarbij meestal geen sprake van een zogeheten totaaloxidatie. Het restproduct van de katalytische oxidatie zijn daarbij CO, CO₂ en water. Het komt daardoor voor dat de concentratie CO na een katalysator hoger is dan ervoor en het systeem daardoor niet voldoet aan een richtlijn voor CO. CO is giftig maar niet kankerverwekkend. Is het dan terecht dat om zo'n systeem bij toetsing aan de richtlijnen een negatief oordeel te geven?

Ook hier weer komt het dilemma bij het maken van beleid en van wet- en regelgeving om de hoek kijken. In het middelpunt staat de politiek, het werkpunt is beleid en het zwaartepunt ligt bij de uitvoering, de interpretatie en de handhaving.

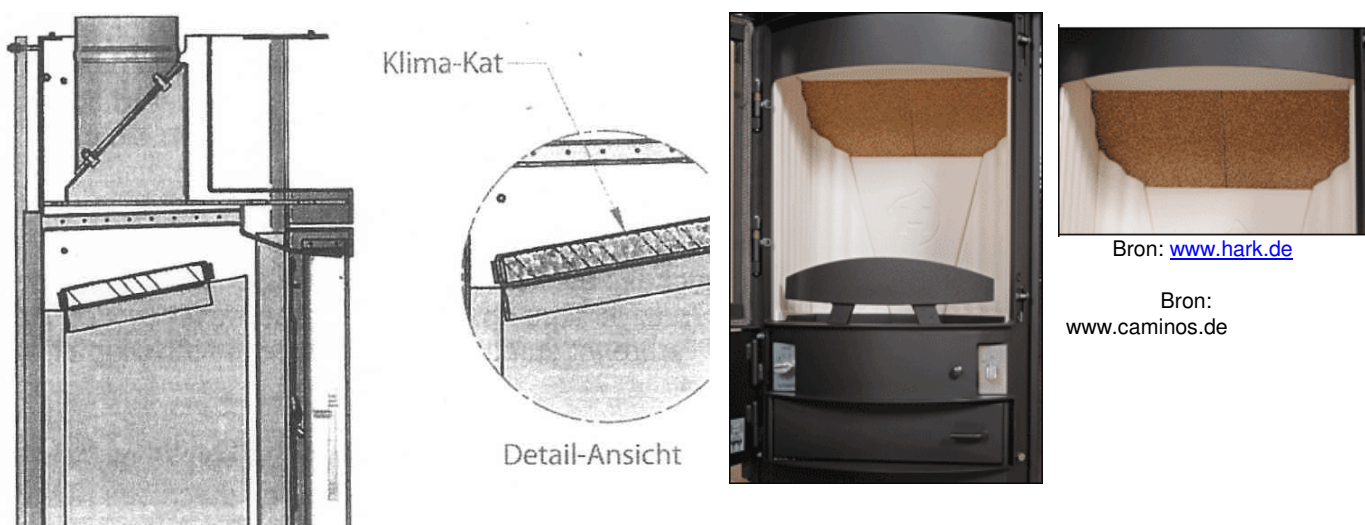
Levensduur: de ervaring met de levensduur die al is opgedaan met de systemen varieert sterk. In Amerika is ruime ervaring met de toepassing van keramische katalysatoren die zijn ingebouwd in houtkachels. Er zijn systemen uit Europa die tijdens de uitvoering van testen door onafhankelijke instituten al de geest gaven en gerepareerd moesten worden en systemen die qua ontwerp eenvoudig en robuust zijn en lang mee zullen gaan. De levensduur is ook sterk afhankelijk van het ontwerp van kachel, van de gebruikte brandstof en van het stookgedrag.

5.5.1. Systemen geïntegreerd in kachels en ketels

5.5.1.1. Geïntegreerd in kachels

- a. Vlam-omleidingsplaat met filterende en katalytische eigenschappen.

De plaat is vervaardigd uit schuimkeramiek waarin een edelmetaal is opgenomen dat de plaat katalytisch actief maakt. De plaat is schuin bovenin de verbrandingskamer gemonteerd. De werking van de plaat is gericht op het katalytisch naverbranden van CO en andere onvolledig verbrande verbindingen en op het afvangen van het minerale fijnstof. Een deel van het fijnstof blijft in de cellen van de plaat achter en zal periodiek voorzichtig met een borstel of een stofzuiger moeten worden verwijderd. De schuimkeramiek is gevoelig voor snelle temperatuurwisselingen en kan bij onjuist gebruik bros worden, scheuren of breken. De plaat kan zonodig vervangen worden. Dit systeem maakt deel uit van een speciale kachel.



Bron: www.hark.de

Bron:
www.camino.de

Websites met informatie over het systeem:

www.camino.de

www1.ish.messefrankfurt.com/frankfurt/en/presse-center_news.html?guid=mf_ddsweb53_12985&show_date_detail=&language=de

www.ikts.fraunhofer.de/werkstoffe/poroese_keramik/index.jsp

www.hark.de/en/ecoplus-wood-burning-stoves/produkt/kaminofen-hark-91-gt-ecoplus.html

www.hark.de/ecoplus-kaminoefen.html

<i>Vlamomleidingsplaat met filterende en katalytische eigenschappen</i>	
Kosten	maakt deel uit van een nieuwe kachel of de kachel moet worden omgebouwd. Vanaf circa € 3.000
Eenvoud	vereist de aanschaf van een nieuwe of aanpassing van een bestaande kachel
Invloed op verbranding	vermindert de trek, vooral bij aangroei van asresten
Onderhoud	periodiek afborstelen of stofzuigen
Bedrijfszekerheid	geen mechanische of elektrische onderdelen
Prestaties	heeft effect voor fijnstof en CO, effect voor geur is onbekend
Levensduur	keramisch materiaal is gevoelig voor sterke temperatuurwisselingen en scheurt en breekt snel

b. Keramische honingraad katalysator achter in de kachel

Dit systeem wordt toegepast in kachels van Amerikaanse makelij. Achter in de kachel bevindt zich een keramische katalysator waar de houtrook door heen wordt geleid voordat deze de kachel verlaat. De werking is vergelijkbaar met het voornoemde systeem. Een voorbeeld van een dergelijk systeem is een kachel van de Amerikaanse firma Vermont Castings. In het model Defiant Encore is een katalysator ingebouwd. De katalysator kan voor onderhoud en inspectie uit de kachel worden genomen. Dat kan alleen vanaf de achterkant van de kachel. De kachel moet daartoe vrij van een wand worden geschoven.



Bron: www.firo-vermont.com

Website met informatie over het systeem:

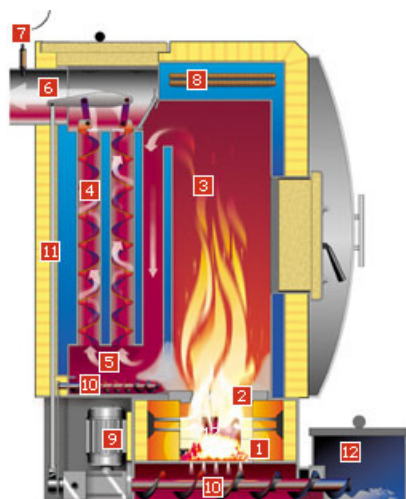
www.firo-vermont.com/NL/home.html

<i>Keramische honingraad katalysator achter in de kachel</i>	
Kosten	maakt deel uit van een nieuwe kachel. Vanaf circa € 3.000
Eenvoud	vereist de aanschaf van een nieuwe kachel
Invloed op verbranding	vermindert de trek, vooral bij aangroei van asresten
Onderhoud	periodiek stofzuigen, katalysator is slecht toegankelijk
Bedrijfszekerheid	geen mechanische of elektrische onderdelen
Prestaties	heeft effect voor fijnstof en CO, effect voor geur is onbekend
Levensduur	keramisch materiaal is gevoelig voor sterke temperatuurwisselingen en kan bros worden

5.5.1.2. Geïntegreerd in ketels

a. Vliegiasopvang in de ketel

De vliegias dat in de warmtewisselaar achterblijft wordt in de ketel afgescheiden van het rookgas. Er zijn ketels waarbij het vliegias dat zich afzet tegen de wanden van de warmtewisselaar automatisch met schroeven naar een opvangbak wordt getransporteerd. Dit systeem wordt wel een turbulator genoemd. De primaire functie van deze techniek is om een intensiever contact van het rookgas met de wanden van de warmtewisselaar te bewerkstelligen. Daardoor verbetert de warmteoverdracht en wordt het thermisch rendement van de ketel verhoogd. Koolmonoxide, (vluchtige) organische verbindingen en geurcomponenten zullen dit systeem ongeschonden passeren.



Bron: www.hargassner.at

Websites van slechts enkele van vele leveranciers van ketels:

www.hargassner.at

www.heizomat.de

www.kwb.at

<i>Vliegiasopvang in de ketel</i>	
Kosten	maakt deel uit van een nieuwe ketel
Eenvoud	is onderdeel van een nieuwe ketel
Invloed op verbranding	heeft weinig invloed op de trek
Onderhoud	automatisch, periodiek asbak legen
Bedrijfszekerheid	eenvoudige, bedrijfszekere mechanische onderdelen
Prestaties	heeft enig effect voor fijnstof maar niet op CO, geur en vluchtige organische verbindingen
Levensduur	robuuste techniek

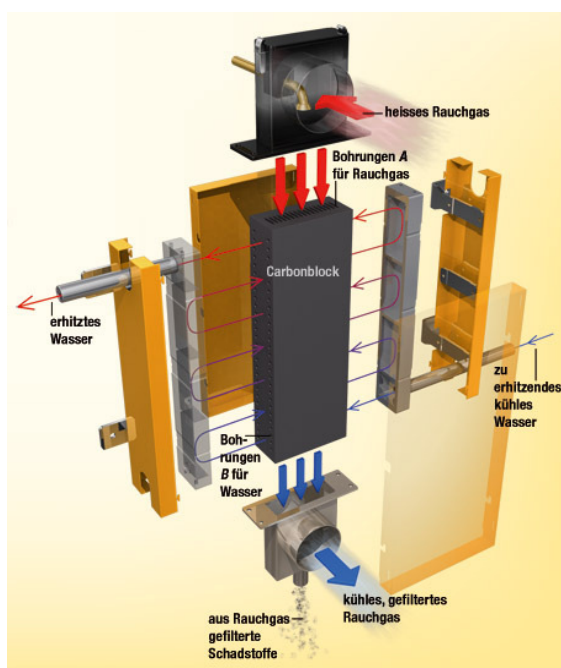
b. Warmtewisselaar met natafscheiding

De firma Bschor GmbH levert een warmtewisselaar die op bestaande ketels kan worden aangesloten. De warmtewisselaar is vervaardigd uit met kunsthars geïmpregneerd grafiet. Het systeem wordt een Öko Carbonizer genoemd.

In deze warmtewisselaar wordt zoveel warmte uit het rookgas gehaald dat de temperatuur onder het condensatiepunt van water daalt. In een conventionele warmtewisselaar wordt condensatie juist voorkomen omdat het zure condensaat het materiaal van de warmtewisselaar en van de schoorsteen ernstig aan zou tasten. De warmtewisselaar van de Carbonizer is echter zuurbestendig en zou onverwoestbaar zijn. In geval van een houtgestookte ketel is wel een schoorsteenkanaal uit een keramisch materiaal vereist. Metalen kanalen zijn niet bestendig genoeg tegen het condensaat. Het sterk afgekoelde rookgas moet geforceerd worden afgevoerd met een rookgasventilator. Een deel van de vlieg-as (roet en minerale as) en een deel van de chemische verbindingen, waaronder zwavelzuur, blijven in het condensaat op de wanden van de warmtewisselaar achter. Dit condensaat wordt in een reservoir onder de warmtewisselaar verzameld. Volgens de fabrikant worden fijnstof, CO en koolwaterstofverbindingen afgescheiden met een rendement tot 86%. Onduidelijk is in hoeverre het systeem invloed heeft op de geur van de houtrook. Een groot warmtetechnisch voordeel van dit systeem is dat er veel warmte uit het rookgas wordt gewonnen en het thermisch rendement van een ketel behoorlijk wordt verhoogd. Het condensaat is een cocktail van anorganische, organische verbindingen en metalen en zal als chemisch afval moeten worden behandeld.



www.carbonizer.de



Bron:

Website met informatie over het systeem:

www.carbonizer.de

<i>Warmtewisselaar met natafscheiding</i>	
Kosten	Aanschafkosten warmtewisselaar vanaf circa € 1.200
Eenvoud	vereist aansluiting op verwarmingsinstallatie
Invloed op verbranding	heeft weinig invloed op de trek
Onderhoud	periodiek reservoir voor condensaat legen
Bedrijfszekerheid	geen mechanische of elektrische onderdelen
Prestaties	heeft effect voor fijnstof maar niet op CO, geur en vluchtige organische verbindingen
Levensduur	robuuste techniek

5.5.1.3. Natwasser

Het rookgas wordt in een aparte module, welke naast een ketel staat, in contact gebracht met water (gequenched). Op de module is tevens een elektrostatische filter gemonteerd om de prestatie voor het afvangen van fijnstof verder te verhogen.

Omdat ook zuurvormende verbindingen uit de houtrook, waaronder chloor, fluor en zwavel, in het water worden opgenomen daalt de zuurgraad van het water. Om corrosieproblemen in het waterreservoir te voorkomen wordt het water automatisch geneutraliseerd door toevoeging van een additief.

Onduidelijk is welke stoffen er in welke mate worden afgevangen en op welke wijze en met welke frequentie het waterreservoir moet worden onderhouden.

Website:

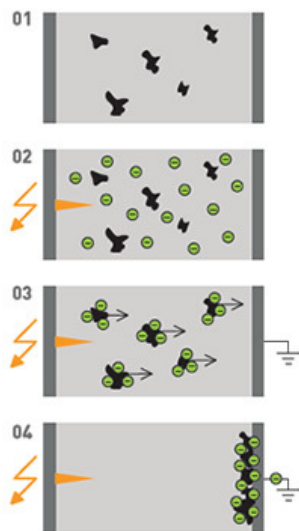
www.th-alternativ-energie.de

www.th-alternativ-energie.de/Download.51.0.html (Brochure „Der Feinstaubkiller“)

<i>Natwasser</i>	
Kosten	aanschafkosten natwasser en e-filter. Prijs niet bekend
Eenvoud	vereist ruimte en heeft een elektrische aansluiting
Invloed op verbranding	heeft veel invloed op de trek
Onderhoud	periodiek reservoir legen en additief navullen
Bedrijfszekerheid	veel techniek met mechanische en elektrische onderdelen
Prestaties	heeft effect voor fijnstof maar niet voor CO, geur en vluchtige organische verbindingen
Levensduur	kwetsbare techniek

5.5.2. In schoorsteen achter kachels en ketels

5.5.2.1. Elektrostatisch filter (e-filter)



Principe e-filter: fijnstof (minerale as en roet) wordt elektrostatisch geladen en wordt aangetrokken door de metalen wand van de schoorsteen.

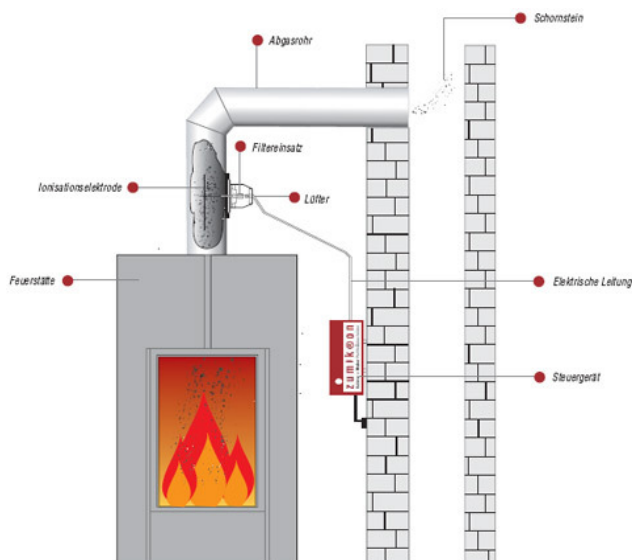
E-filters in het schoorsteenkanaal

Voor de inbouw van deze uitvoering van elektrostatische filtersystemen wordt een deel van de schoorsteenpijp vervangen door een e-filter-unit. De unit is uitgevoerd als T-stuk. Zijdelings bevindt zich de aansluiting voor een flexibele slang met de hoogspanningsleiding en de luchttoevoer voor de reiniging van de elektrode. De ventilator en de hoogspanningsgenerator bevinden zich in een aparte unit die op korte afstand van het T-stuk in de schoorsteen wordt opgesteld.

Het uit de houtrook afgescheiden fijnstof verzamelt zich tegen de metalen binnenwand van de schoorsteenpijp of dwarrelt naar beneden in een reservoir. De schoorsteen moet regelmatig worden geveegd zodat het e-filter optimaal kan blijven werken. Groeit het fijnstof aan tot een te dikke laag dan kan er vonkoverslag optreden tussen de elektrode en de schoorsteenwand. Daarbij is een hard knetterend geluid te horen. In die situatie wordt geen

fijnstof meer afgescheiden en moet de schoorsteen worden geveegd.

Bij onderhoud aan het systeem of aan het schoorsteenkanaal kan de aansluiting op de schoorsteen met de elektrode, binnenshuis, van het T-stuk worden afgenomen. De frequentie waarmee de schoorsteen moet worden geveegd is afhankelijk van het type kachel, de asrest van de brandstof, het stookgedrag en de stookfrequentie. Men moet met deze uitvoering van het e-filter rekenen op minimaal twee maal jaarlijks veegen.



Bron: www.kutzner-weber.de

Enkele websites:

www.kutzner-weber.de/deu/produkte/zumikron.html

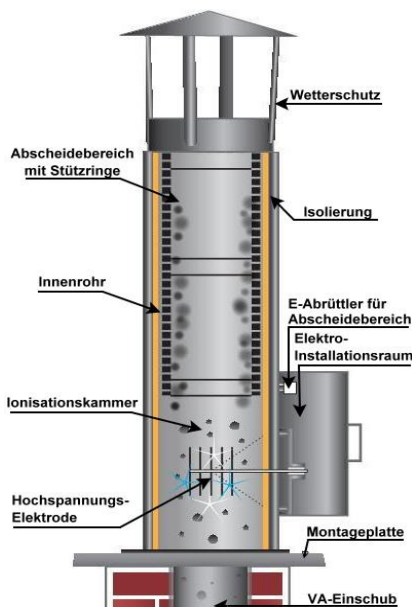
www.ruegg-cheminee.com/ww/de/pub/produkte/partikelabscheider.htm

www.th-alternativ-energie.de/

<i>E-filters in het schoorsteenkanaal</i>	
Kosten	aanschafkosten systeem vanaf € 1.200
Eenvoud	vereist enige ruimte en heeft een elektrische aansluiting
Invloed op verbranding	heeft nauwelijks invloed op de trek
Onderhoud	periodiek vegen van de schoorsteen
Bedrijfszekerheid	veel techniek met mechanische en elektrische onderdelen
Prestaties	heeft effect voor fijnstof maar niet voor CO, geur en vluchtige organische verbindingen
Levensduur	kwetsbare techniek

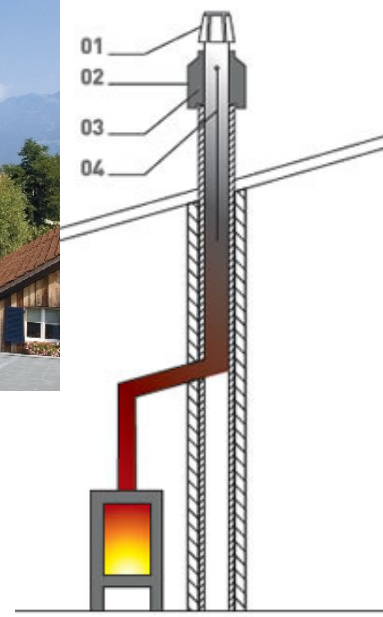
E-filters op de monding van de schoorsteen

Deze e-filters worden buitenshuis op de monding van de schoorsteen geplaatst. De unit met de hoogspanningsgenerator wordt binnenshuis opgesteld of is buiten bevestigd tegen het pijpstuk met de elektrode. Het fijnstof valt als vlokken in de schoorsteen naar beneden. De schoorsteen moet een recht vertikaal kanaal hebben en het fijnstof moet zich onderin de schoorsteen kunnen verzamelen. De schoorsteen mag echter niet recht bovenop de kachel staan. De afvoer van de kachel moet zijdelings op de schoorsteen zijn aangesloten. In verband met montage en onderhoud moet het e-filter goed bereikbaar zijn en moet maximaal op 1,5 meter hoogte vanaf het dakvlak zijn gemonteerd. Het dak moet beloopbaar zijn. Deze uitvoering is ongeschikt in het geval de schoorsteen te kort is en de kachel of ketel bij een korte schoorsteen geen geforceerde rookgasafvoer heeft.



Bron: www.oekotube.ch

Bron: www.ruff-kat.de



Websites:

www.ruff-kat.de/cms/front_content.php

www.oekotube.ch/

www.exhausto-cdt.co.uk/Downloads.aspx?ID=294

www.appliedplasma.com/solutions/residential-esp

<i>E-filters op de monding van de schoorsteen</i>	
Kosten	aanschafkosten systeem vanaf € 1.200
Eenvoud	vereist een beloopbaar dak en heeft een elektrische aansluiting
Invloed op verbranding	heeft nauwelijks invloed op de trek
Onderhoud	periodiek vegen van de schoorsteen en legen van de asopvang
Bedrijfszekerheid	veel techniek met mechanische en elektrische onderdelen
Prestaties	heeft effect voor fijnstof maar niet voor CO, geur en vluchtige organische verbindingen
Levensduur	kwetsbare techniek

E-filters als aparte module



Deze uitvoering is geschikt voor grotere kachels of ketels waar zonder esthetische of ruimtelijke bezwaren een technisch onderdeel naast of op kan worden gemonteerd. Het fijnstof wordt automatisch in reservoirs verzameld. Deze systemen lenen zich bij uitstek voor volautomatische stookinstallaties voor hout- en stropellets, houtchips en stukhout.

Websites:

www.spanner.de/?p=leistungen

www.spartherm.com/brennzellen/zubehoer/airbox.html

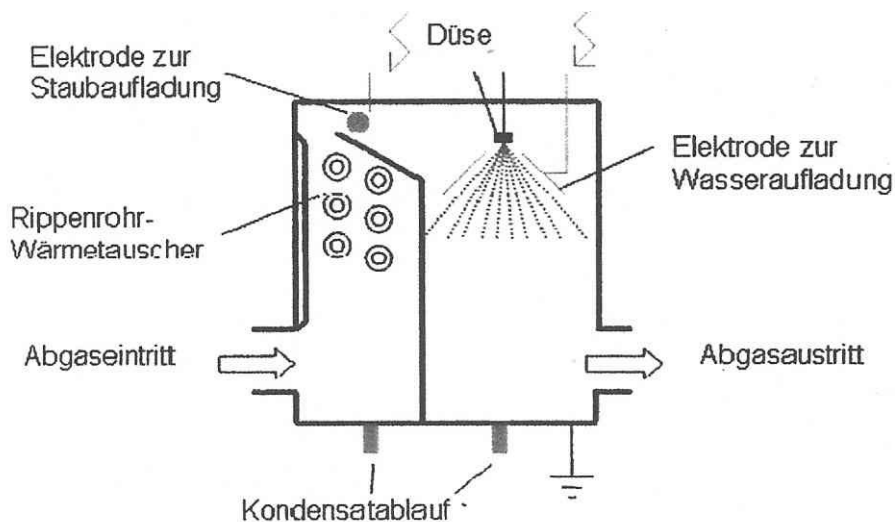
www.rauschert.cn/vt/Download/Carola.pdf

Bron: www.spartherm.com

<i>E-filters als aparte module</i>	
Kosten	aanschafkosten systeem onbekend
Eenvoud	vereist ruimte en heeft een elektrische aansluiting
Invloed op verbranding	heeft nauwelijks invloed op de trek
Onderhoud	periodiek legen van de asopvang
Bedrijfszekerheid	veel techniek met mechanische en elektrische onderdelen
Prestaties	heeft effect voor fijnstof maar niet voor CO, geur en vluchtige organische verbindingen
Levensduur	kwetsbare techniek

Natte elektrostatische filters

Aan de Fachhochschule Gelsenkirchen is een module ontwikkeld welke direct achter een kachel of ketel wordt geplaatst. In de module bevindt zich een warmtewisselaar en een elektrostatische natwasser. In de natwasser kunnen fijne waterdruppeltjes elektrostatisch worden geladen. Fijnstof hecht zich daarbij aan de druppeltjes. De meerwaarde van deze natte elektrostatische afscheiding ten opzichte van de droge variant is dat er meer van de zeer kleine deeltjes van het fijnstof, de PM2,5 fractie, kunnen worden afgevangen. In de praktijk worden problemen ondervonden met het zure, corrosieve condensaat dat metalen delen van het systeem aantast.



Bron: www.schraeder.com

Website:

www.schraeder.com/cms/deu/energieeffizienz/al-top/al-top.html

Nat e-filter	
Kosten	aanschafkosten systeem vanaf € 4.000
Eenvoud	vereist veel ruimte en heeft een elektrische aansluiting
Invloed op verbranding	heeft weinig invloed op de trek
Onderhoud	periodiek legen van het reservoir voor condensaat
Bedrijfszekerheid	veel techniek en elektrische onderdelen, veel corrosie
Prestaties	heeft effect voor fijnstof maar weinig voor CO, geur en vluchtige organische verbindingen
Levensduur	kwetsbare techniek

5.5.3. Katalysator

De Firma moreCat GmbH heeft een katalysatorsysteem ontwikkeld welke, in alle diameters, direct achter een bestaande kachel of ketel kan worden gemonteerd. Daarbij wordt het eerste stuk metalen kachelpijp vervangen door een pijpstuk waarin zich de katalysator



bevindt. De katalysator is vervaardigd uit metaal, is zeer robuust, is bestand tegen snelle temperatuurwisselingen en tegen vele katalysatorgifstoffen zoals zwavel. De katalysator zet onvolledig verbrande verbindingen, waaronder roet en geurstoffen, om en filtert een deel van de minerale

vliegias uit. De katalysator moet regelmatig onder de kraan worden schoongespoeld om de verzamelde minerale asrest te verwijderen. De katalysator is zelfreinigend voor wat betreft de organische verbindingen zoals roet.

Bron: www.morecat.nl



De firma IBC Heiztechnik levert een metalen katalysator als accessoire bij haar ketels. De houtrook stroomt door kleine kanaaltjes waarvan de wanden katalytisch actief zijn. Dit type katalysator (monolieten) wordt ook als roetfilter bij verbrandingsmotoren toegepast. Om de minerale as te verwijderen kan de katalysator worden uitgenomen en met een borstel worden gereinigd. Dit systeem is vooral gericht op het verminderen van de uitstoot van CO. De katalysator kan niet als los onderdeel bij IBC worden gekocht.

Bron: www.ibc-heiztechnik.de

Websites:

www.morecat.nl

www.ibc-heiztechnik.de

<i>Katalysator</i>	
Kosten	aanschafkosten los systeem vanaf € 300
Eenvoud	uitwisselen met een stuk kachelpijp
Invloed op verbranding	heeft weinig invloed op de trek
Onderhoud	frequent schoonspoelen of afborstelen van de katalysator
Bedrijfszekerheid	geen mechanische en elektrische onderdelen
Prestaties	heeft effect voor fijnstof, CO, organische verbindingen en geur
Levensduur	robuuste techniek