Energy & Materials Transition
www.tno.nl
+31 88 866 50 65
info@tno.nl

TNO 2024 R12760 – 19 maart 2024

Evaluatie meetmethoden Ecodesign kachels

Auteurs	Peter Tromp, Antoon Visschedijk en Paula Bronsveld
Rubricering verslag	TNO Publiek
Titel	TNO Publiek
Samenvatting	TNO Publiek
Verslagtekst	TNO Publiek
Aantal pagina's	36
Aantal bijlagen	0
Opdrachtgever	Inspectie Leefomgeving en Transport
Projectnaam	ILT meetmethoden Ecodesign kachels
Projectnummer	060.59037

Alle rechten voorbehouden
Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

© 2024 TNO

Samenvatting

Sinds 1 januari 2022 moeten houtkachels voldoen aan de eisen uit bijlage II van de Verordening 2015/1185 ter uitvoering van Richtlijn 2009/125/EG, inclusief uitstoot van zwevende deeltjes. Houtkachels die daaraan niet voldoen mogen niet op de Europese markt gebracht worden. Op verzoek van de ILT is door TNO een vergelijking van de drie in de Verordening opgenomen meetmethoden (verwarmd filter en verdunningstunnel met of zonder elektrostatische precipitator) uitgevoerd op basis van beschikbare resultaten uit verschillende validatie- en vergelijkingsstudies die in de Verordening zijn opgenomen. Deze meetmethoden hebben hun oosprong in verschillende Europese landen (Oostenrijk-Duitsland, Noorwegen, Verenigd Koninkrijk).

Meetmethoden waarbij gebruik gemaakt wordt van een verdunningstunnel leveren hogere gemeten fijnstofemissiewaarden op dan methoden met een verwarmd filter in het rookgasafvoerkanaal. Bij nominale belasting van de kachel wordt het verschil maximaal, wat kan oplopen tot een factor 8 in het nadeel van de verdunningsmethode. Dit wordt toegeschreven aan efficientere vorming van gasvormige condenseerbare stoffen.
Hoewel een verwarmd filter methode meestal lagere fijnstofuitstoot meet dan een verdunningstunnel methode, leidt dit niet direct tot eenvoudiger voldoen aan de eisen, omdat hier bij het bepalen van de grenswaarde voor de fijnstofuitstoot rekening mee gehouden is. In ca. 40% van de gevallen voldoet een kachel wel aan de eisen wanneer getest met de ene methode (verwarmd filter of verdunningstunnel), maar niet wanneer de andere methode wordt gebruikt. Hierbij lijkt niet één van de twee methoden gunstiger: de verdeling van gunstige uitslagen over de twee methoden is ongeveer half om half. Ook de keuze voor wel of geen nominale belasting heeft weinig invloed op deze verdeling.
Een vergelijking tussen methoden met een verdunningstunnel met of zonder elektrostatische precipitator geeft een vergelijkbaar beeld, echter hierbij lijkt de methode zonder precipitator iets vaker gunstig uit te vallen.

Voor alle drie de meetmethoden is bij herhaling van de test de afwijking in de gemeten emissie gemiddeld hoger dan 20%. Dit is een aanzienlijke meetonzekerheid, hoger dan algemeen aanvaard. De verdunningstunnelmethode lijkt iets minder afwijking te laten zien bij herhaling dan de verwarmd filtermethode. Bij reproductie van de testen in een ander lab wordt een vergelijkbare afwijking gezien, wat erop duidt dat de meetonzekerheid vooral wordt bepaald door de keuze van testcondities en/of brandstofkarakteristieken. Binnen de verwarmd filter methode, lijkt de EN-PME variant een iets betere reproduceerbaarheid te hebben dan de DINplus variant.
Uit controletesten van kachels door externe laboratoria blijkt in 80% van de gevallen de fijnstofemissiewaarde hoger te zijn dan de opgegeven waarde door de fabrikant, wat kan wijzen op selectie van de gunstigste uitkomst, met bijbehorende consequenties voor een toetsing van de gemeten fijnstofemissiewaarde aan de eis voor fijnstof uitstoot in de EU Verordening.

In conclusie zijn de drie meetmethoden slecht reproduceerbaar en slecht onderling vergelijkbaar, zowel wat betreft de gemeten fijnstofwaarden als voor een conformiteitsbeoordeling. Harmonisatie is nodig en zou hier wellicht verbetering in kunnen brengen, maar de testcondities luisteren nauw.

Zichtbare eigenschappen van houtkachels bieden wel mogelijk handvatten voor inspecties om een snelle inschatting te maken of emissies naar verwachting hoog zijn. Typische indicatoren zijn een hoge luchtovermaat, te hoge schoorsteentemperatuur en onvoldoende voorzieningen om secundaire verbranding mogelijk te maken.

Inhoudsopgave

Samenvatting 4
Inhoudsopgave 6
1 Inleiding 7
1.1 Doel van deze studie 7
1.2 Verdeling vragen over de hoofdstukken 8
2 Vergelijking meetmethoden 9
2.1 Beschrijving van de meetmethoden 9
2.1.1 Metingen met verwarmd filter (methode 1) 10
2.1.2 Metingen met verdunningstunnel (methode 2 en 3) 10
2.1.3 Metingen met elektrostatische precipitator (optie bij methode 3) 10
2.1.4 Vergelijking verwarmd filter en verdunningstunnel 10
2.1.5 Harmonisatie van de testmethoden 11
2.2 Vergelijking van uitkomsten van de methoden 13
2.2.1 Onderlinge vergelijking van gemeten emissiewaarden (vraag 1) 14
2.2.2 Vergelijking met PM-limieten en toleranties (vraag 2) 17
2.2.3 Afhankelijkheid van normversie en specifieke condities (vraag 3) 23
2.3 Conclusies vergelijking van testmethoden 25
3 Internationaal beeld en handvatten voor inspecties 27
3.1 Internationale aspecten 27
3.2 Zichtbare eigenschappen van houtkachels ten aanzien van uitstoot en efficiëntie eisen 29
3.2.1 Te hoge luchtovermaat 30
3.2.2 Te hoge schoorsteentemperatuur 30
3.2.3 Te hoge fijnstof emissie door onvolledige verbranding 31
3.3 Emissie volgens meetprotocollen vergeleken met de werkelijke emissie 31
3.4 Samenvatting hoofdstuk 3 32
4 Ondertekening 34
Referenties 35

1 Inleiding

De ILT is in Nederland toezichthouder op de richtlijn Ecodesign 2009/125 en onderliggende Verordening (EU) 2015/1185[1] inzake het ecologisch ontwerp van toestellen voor lokale ruimteverwarming die vaste brandstoffen gebruiken. Houtkachels moeten vanaf 1 januari 2022 voldoen aan de eisen uit bijlage II van de Verordening aangaande energie efficiëntie en uitstoot. Dit betekent dat houtkachels die daaraan niet voldoen niet op de Europese markt gebracht mogen worden. De ILT heeft de bevoegdheid om producten van de markt te weren.

Om vast te stellen of een product voldoet aan de Ecodesign eisen voert de ILT onderzoek uit naar de technische dossiers en waar nodig worden producten getest. De ILT laat gelet op bijlage IV (punt7) juncto Bijlage III van de verordening testen volgens de methoden die in de verordening zijn opgenomen en waarvoor de te gebruiken normen zijn gespecificeerd in Commissiemededeling (2017/C 076/02) (transitiemethode). De ILT volgt daarbij de procedure uit bijlage IV en de daarin opgenomen toegestane tolerantiegrenzen.

In de Verordening zijn 3 meetmethoden voor fijnstof opgenomen. Daarnaast is onder de CPR een geharmoniseerde norm tot stand gekomen, waarin ook een meetmethode voor PM-uitstoot is opgenomen.[2] Fabrikanten zijn voor Ecodesign niet verplicht om de onder de CPR van kracht geworden nieuwe geharmoniseerde norm te volgen en kunnen ook de 3 meetmethoden uit de Verordening nog gebruiken. Er zijn echter signalen dat de uitkomsten per meetmethode enorm kunnen afwijken. Met deze deskstudie wil de ILT inzicht krijgen in de verschillen tussen deze 3 meetmethoden en de nieuwe geharmoniseerde norm, de impact hiervan op de Nederlandse kachelmarkt en de urgentie/mogelijkheden tot interventie (zijn het specifiek kachels uit bepaalde landen, zijn ze te herkennen, welke tests gebruiken NL fabrikanten, etc.).

1.1 Doel van deze studie

De studie waarvan de resultaten worden beschreven in dit rapport heeft zich gericht op het zo goed en onderbouwd mogelijk beantwoorden van een aantal specifieke vragen van de ILT, welke zich richten op een inhoudelijke beoordeling van de meetmethoden (vraag 1-3) en het geven van een doorkijk naar de markt (vraag 4-6):

1) Hoe verhouden de uitkomsten van de metingen ten aanzien van fijnstofuitstoot (en mogelijk ook voor energie efficiëntie) voor de verschillende meetmethoden zich ten opzichte van elkaar?
2) Is de verwachting dat de afwijkingen binnen de toleranties blijven zoals opgenomen in tabel 4 van bijlage IV van Verordening 2015/1185?
3) Welke onduidelijkheden/interpretatieverschillen zijn er die kunnen leiden tot verschillend uitvoeren van de testen door laboratoria?
4) Welke meetmethoden worden door Nederlandse fabrikanten gebruikt, welke zijn nog meer gebruikelijk binnen de EU?

[1] https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=CELEX:02015R1185-20170109

[2] Op houtkachels is ook de Verordening bouwproducten CPR 305/2011 van toepassing met de geharmoniseerde norm NEN-EN 16510-2-1:2023 welke in 2023 de geharmoniseerde norm EN 13240 heeft vervangen. Er is momenteel een overgangssituatie dat beide normen gebruikt mogen worden voor beoordeling voor de CPR 305/2011..

5) Zijn er zichtbare eigenschappen van houtkachels waardoor er een grotere kans is dat er niet aan de efficiëntie eisen wordt voldaan (bijv. luchtcirculatie) ?
6) Grove indicatie hoe het aandeel NL en EU gefabriceerde kachels zich verhoudt toe geïmporteerde kachels uit niet EU landen?

Voor de beoordeling van de meetmethoden **(vraag 1-3)** zijn de verschillende meetmethoden doorgenomen en is een schriftelijke inschatting gemaakt van de verwachte verschillen tussen de methoden op basis van de gegeven toleranties in bijlage IV van de Verordening. Ook is er een inventarisatie gemaakt welke mogelijke interpretatieverschillen tussen de protocollen tot andere resultaten kunnen leiden. Ook is er gezocht naar zichtbare eigenschappen van kachels waarbij er een grotere kans is dat er niet aan de efficiëntie eisen wordt voldaan **(vraag 5).**
Op basis van eerdere studies en wat uitzoekwerk kan TNO een globaal antwoord geven over welke meetmethoden gebruikelijk zijn binnen de EU en welke daarvan de hoogste uitkomsten geven **(vraag 4)**. TNO heeft op dit moment geen inzicht in hoe het aandeel NL en EU gefabriceerde kachels zich verhoudt toe geïmporteerde kachels uit niet EU landen, maar heeft hier wel navraag naar gedaan **(vraag 6)**.

1.2 Verdeling vragen over de hoofdstukken

In hoofdstuk 2 zijn de antwoorden geformuleerd op vraag 1-3. Er wordt geïnventariseerd hoe de meetmethoden onderling vergelijken op het gebied van fijnstofuitstoot en er wordt vervolgens gekeken in hoeverre de afwijkingen in fijnstofuitstoot binnen de gegeven toleranties vallen en hoe verschillende afwijkingen ontstaan. Zijn de toleranties een gevolg van onduidelijkheden/interpretatieverschillen of zijn ze inherent aan verschillen in de aard van de meetmethoden?
In hoofdstuk 3 wordt aanvullend een inschatting gemaakt van de meetmethoden die door Nederlandse fabrikanten en in de EU gebruikt worden en van welk deel van de kachels van binnen en buiten de EU geïmporteerd worden (vraag 4 en 6). Ook is er een korte inventarisatie gemaakt van zichtbare eigenschappen van houtkachels waar bij inspectie op gelet kan worden om in te schatten of aan de eisen wordt voldaan (vraag 5).
Aan het eind van beide hoofdstukken worden de belangrijkste conclusies kort samengevat.

2 Vergelijking meetmethoden

Houtkachels moeten vanaf 1 januari voldoen aan de eisen uit bijlage II van de Verordening tot uitvoering van Richtlijn 2009/125/EG (hierna “de Verordening”). Deze bijlage schrijft een aantal eisen aan het ontwerp van de kachel voor, met betrekking tot de seizoensgebonden energie-efficiëntie, de uitstoot van fijnstof, organische verbindingen, CO en NO_x en een aantal productinformatie eisen. Houtkachels die niet aan deze eisen voldoen, mogen niet op de Europese markt gebracht worden. Voor Nederland wordt de controle op deze eisen gedaan door de ILT.
De ILT controleert de technische dossiers van kachels op de Nederlandse markt en laat indien nodig de kachels testen aan de hand van CEN meetnormen die in de Verordening zijn opgenomen en verder gespecificeerd in de Commissiemededeling 2017/C 076/02. Voor het testen van kachels op fijnstofemissies zijn in de Verordening drie verschillende meetmethoden toegestaan, waarvan er slechts één hoeft te worden gebruikt. Doordat de manier van bemonsteren, en daarmee de verwachte meetwaarde, sterk verschilt tussen deze methoden, heeft iedere meetmethode een eigen emissiegrenswaarde waaraan voldaan moet worden. Daarnaast is EN 16510-2-1:2023 als *geharmoniseerde* norm tot stand gekomen, maar in ieder geval voor de komende periode mogen de 3 normen uit de Verordening nog gebruikt worden.

In dit hoofdstuk zullen de drie meetmethoden uit de verordening worden vergeleken t.a.v. verschillen in uitkomsten m.b.t het voldoen aan de eisen voor fijnstofemissies. Hierbij wordt specifiek gekeken naar de verwachting dat afwijkingen t.g.v. de methode binnen de voorgeschreven toleranties blijven en mogelijke onduidelijkheden/interpretatieverschillen die kunnen leiden tot het verschillend uitvoeren van testen door laboratoria.

2.1 Beschrijving van de meetmethoden

De drie verschillende meetmethoden die worden vergeleken in deze studie zijn[3]:

1. PM-meting door bemonstering van een gedeeltelijk droog monster van het rookgas over een **verwarmd filter**. De PM-meting in de verbrandingsproducten van het toestel wordt uitgevoerd terwijl het product zijn nominale warmteafgifte levert en indien passend bij deellast.
2. PM-meting door bemonstering, over de volledige verbrandingscyclus, van een gedeeltelijk monster van het rookgas, met gebruikmaking van natuurlijke trek, uit het verdunde rookgas met gebruikmaking van een **volledige-stroomverdunningstunnel en een filter bij omgevingstemperatuur**.
3. PM-meting door bemonstering, over een periode van 30 minuten, van een gedeeltelijk monster van het rookgas, met gebruikmaking van een vaste trek van 12 Pa, uit het verdunde rookgas met gebruikmaking van een **volledige-stroomverdunningstunnel en een filter bij omgevingstemperatuur** of een **elektrostatische stofvanger.**

Het grootste onderscheid tussen de methoden zit in de manier van bemonsteren. Bij de eerste methode gebeurt dit met een verwarmd filter en bij de andere twee methoden wordt gebruik gemaakt van een volledige stroomverdunningstunnel en een filter bij omgevingstemperatuur of een elektrostatische precipitator (optie bij methode 3). De grootste verschillen tussen deze twee typen bemonsteringen worden hieronder nader toegelicht.

[3] Zoals gegeven in de Verordening (EU) 2015/1185

2.1.1 Metingen met verwarmd filter (methode 1)

Primair fijnstof uit houtverbranding bestaat uit deeltjes met een niet vluchtige kern van elementair en organisch gebonden koolstof, met daar omheen een (semi-)vluchtige gecondenseerde laag van uitsluitend organisch gebonden koolstof[4]. Deze laag ontstaat later in het verbrandingsproces wanneer het rookgas afkoelt en het semi-vluchtige materiaal condenseert op de reeds bestaande deeltjes.
Het idee achter het gebruik van een verwarmd filter om fijnstof in het rookgas te bemonsteren is het (gedeeltelijk) voorkomen dat deze organische laag zich om de niet-vluchtige deeltjeskern vormt, door de temperatuur zo hoog te houden dat een groot gedeelte van het semi-vluchtige materiaal in de gasfase blijft en niet door het filter wordt opgevangen. De belangrijkste reden hiervoor is het vergroten van de reproduceerbaarheid van de meetmethode. De filtertemperatuur heeft een grote invloed, hoe hoger deze temperatuur hoe minder semi-vluchtig materiaal zal condenseren. In de industrie is vaak een temperatuur van 300°C gangbaar, maar bij houtkachels is de filtertemperatuur dikwijls veel lager (tot bijvoorbeeld 70°C) waardoor verhoudingsgewijs toch nog een aanzienlijke hoeveelheid semi-vluchtig materiaal gecondenseerd zal zijn en door het verwarmde filter zal worden opgevangen.

2.1.2 Metingen met verdunningstunnel (methode 2 en 3)

De gedachte achter het gebruik van een verdunningstunnel voordat fijnstof in rookgassen bemonsterd wordt, is het simuleren van wat er gebeurt wanneer de rookgasstroom afkoelt tot omgevingstemperatuur en zich in de buitenlucht verspreid. Het afkoelingsproces en de verdunning gebeuren tegelijkertijd in een verdunningstunnel. Door de lagere temperatuur zal de fijnstofmassa toenemen vergeleken met een verwarmd filter omdat semi-vluchtig materiaal meer kans krijgt te condenseren op reeds aanwezige deeltjes. Bij volledige afkoeling en lage verdunningsfactoren (bijv. < 10) is het zelfs mogelijk dat er extra semi-vluchtig materiaal condenseert, dat in een praktijksituatie in de buitenlucht alsnog zou verdampen. Hierom is het raadzaam een voldoende hoge verdunningsfactor te gebruiken (> 100).

2.1.3 Metingen met elektrostatische precipitator (optie bij methode 3)

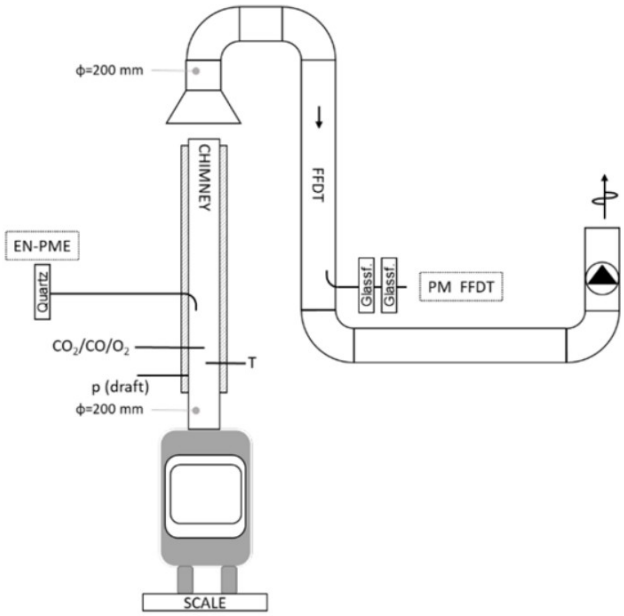
Het bemonsteren van rookgas met een elektrostatische precipitator (ESP) is een alternatief voor een (verwarmd of onverwarmd) filter om fijnstofdeeltjes in het rookgas van verbrandingsprocessen te verzamelen. Het concept van een elektrostatische precipitator berust op het gebruik van elektrostatische krachten om deeltjes uit het gas te verwijderen. Het gebruik van een elektrostatische precipitator voor rookgasmeting biedt voordelen, waaronder het vermogen om kleine deeltjes effectief te verzamelen en een breed scala aan deeltjesgroottes aan te kunnen. De methode vereist echter wel nauwkeurige kalibratie en onderhoud om betrouwbare metingen te kunnen waarborgen.

2.1.4 Vergelijking verwarmd filter en verdunningstunnel

Vanwege het verschil in de hoeveelheid gecondenseerd materiaal dat bemonsterd wordt, zal met een verdunningstunnel dus waarschijnlijk meer fijnstof gemeten worden dan met een

[4] bijvoorbeeld PAK's, organische verbindingen die koolstof en waterstof bevatten en ontstaan bij onvolledige verbranding van hout, of vluchtige organische stoffen (VOS) die ook bij houtverbranding vrijkomen, zoals benzeen, tolueen en formaldehyde.

verwarmd filter. Op het eerste gezicht lijkt het gebruik van een verdunningstunnel ook een stuk gecompliceerder dan bemonstering met een verwarmd filter, maar een verdunningstunnel geeft wel een beter beeld van de daadwerkelijke emissie, want gecondenseerd materiaal is een belangrijk deel van het uitgestoten fijnstof bij houtverbranding. Er dient hierbij wel opgemerkt te worden dat bemonstering met een filter dat maar tot een relatief lage temperatuur verwarmd wordt, bijv. 70°C in plaats van 180°C, ook zal resulteren in een aanzienlijke hoeveelheid gecondenseerd materiaal, waardoor het verschil tussen de methoden kleiner wordt. En het verschil wordt groter wanneer er een lage verdunning wordt gebruikt in de verdunningstunnel. Verdere algemene informatie over de verschillen tussen de twee meetmethoden is te vinden in [Nussbauer et al. 2010]. In Figuur 1 wordt het verschil in bemonsteringslocaties tussen de twee methoden grafisch toegelicht.



Figuur 1. Het verschil in testopzet tussen de verwarmd filtermethode (EN-PME), met de fijnstof meting in het rookgaskanaal en de verdunningstunnel methode (PM FFDT) waarbij fijnstof wordt gemeten in verdund rookgas.

2.1.5 Harmonisatie van de testmethoden

De drie meetmethoden uit de Verordening staan (zie Commissiemededeling) in detail beschreven in de technische specificaties EN 16510-1:2023, G.2 (verwarmd filter) en CEN-TS 15883:2009 (verdunningstunnel, bijlagen A.2 en A.3). De verschillen tussen deze methoden geven aanleiding tot ongelijkheid in de prestatiebeoordeling van houtkachels door zowel producenten, autoriteiten als eindgebruikers. Daarnaast is op houtkachels ook de Verordening bouwproducten CPR (Construction Products Regulation) 305/2011 van toepassing met de geharmoniseerde norm EN 13240, wat nog voor extra onduidelijkheid zorgt.
Onder de CPR is recent de EN 16510-2-1:2023 als *geharmoniseerde* norm tot stand gekomen ter vervanging van de EN 13240. Hierin is een testmethode (EN-PME, zie Figuur 1) beschreven voor het meten van de PM-uitstoot, die verwijst naar en veel overeenkomsten vertoont met EN 16510-1, de verwarmd filter methode uit de Verordening. In Tabel 1 worden de belangrijkste kenmerken van de drie methoden uit de EU Verordening en de CPR met elkaar vergeleken.

Tabel 1. Belangrijkste kenmerken van de verschillende testmethoden die in Europa worden gebruikt en de eisen voor PM-uitstoot in de EU Verordening 2015/1185 [Krpec K., 2023].

Methode EU Verordening	CPR	1 – verwarmd filter	2 - verdunningstunnel	3 – verdunningstunnel (opt. met elektrostatische precipitator)
Standaard	EN 16510-2-1:2023 EN 16510-1:2022,6.3.1 en 6.3.5 EN-PME	EN 13240 + DINplus + EN 16510-1:2013, G.2 EN-PME	CEN/TS 15883:2009 Annex A.2 NS 3058 / NS 3059 PM FFDT	CEN/TS 15883:2009 Annex A.3 PM FFDT
Land van oorsprong meetmethode	EU	EU (Duitsland/ Oostenrijk)	Noorwegen	Verenigd Koninkrijk
Aantal metingen	3 metingen bij nominale en gedeeltelijke warmteafgifte (als gespecificeerd door fabrikant)	3 metingen bij nominale warmteafgifte	enkelvoudige metingen bij 4 verschillende verbrandingssnelheden	5 metingen bij 3 verbrandingssnelheden + verkeerd gebruik (conform BS 3841)
Brandcyclus	volledige brandcyclus (zonder ontsteking)	30 minuten, na 3 minuten voor ontsteking	volledige brandcyclus (zonder ontsteking)	30 minuten, na 3 minuten voor ontsteking
Brandstof	Voornamelijk hardhout (beuk, berk, haagbeuk)	Voornamelijk hardhout (beuk, berk, haagbeuk)	Luchtgedroogde sparren	Haardhout
Massa brandstof	Berekend op basis van de door de fabrikant gedefinieerde warmteafgifte	Berekend op basis van de door de fabrikant gedefinieerde warmteafgifte	112 ± 11 kg/m3, op basis van het totale volume van de verbrandingskamer	-
Vochtgehalte	15 +/- 3%	16 +/- 4%	16-20%	< 20%
Rookgastrek	Gecontroleerd bij 12 Pa (nominale warmteafgifte) en minimaal bij 6 Pa (gedeeltelijke warmteafgifte)	Gecontroleerd bij 12 Pa	Natuurlijke rookgastrek	Gecontroleerd bij 12 Pa
PM meting	EN-PME methode, in de schoorsteen - over verwarmd filter (180°C)	DIN+ methode, in de schoorsteen - over verwarmd filter (70°C)	Isokinetisch - in een verdunningstunnel - filtertemperatuur ≤ 35°C	Electrostatische precipitator & optische smoke meting aan uiteinde schoorsteen of filtermethode in verdunningstunnel (conform BS 3841)
Filter behandeling	180 °C gedurende 1 uur	105 °C gedurende 1 uur	kamer temperatuur gedurende 24 uur	-
Eisen PM-uitstoot en tolerantie (bij 13% O2) conform de EU Verordening 2015/1185				
Hout Pellets Vaste fossiele brandstoffen	40 (+20) mg/m^3 20 (+10) mg/m^3 40 (+20) mg/m^3	40 (+20) mg/m^3 20 (+10) mg/m^3 40 (+20) mg/m^3	5 (+1) g/kg 2,5 (+1) g/kg 5 (+1) g/kg	2,4 (+0,8) g/kg 1,2 (+0,8) g/kg 5 (+0,8) g/kg

2.2 Vergelijking van uitkomsten van de methoden

Er zijn sinds 2016 enkele grote validatie- en vergelijkingsstudies uitgevoerd, waarbij o.a. de correlatie tussen de verschillende testmethoden voor fijnstofuitstoot is onderzocht:

1. **DTI** - Validatiestudie uitgevoerd door het Deense instituut Danish Technological Institute (DTI) in het kader van het EU project IMPRESS 2 [EU Project IMPRESS 2], waarbij een nieuw ontwikkeld verdunningssysteem voor rookgasmetingen is vergeleken met de verwarmd filter methode en de reguliere verdunningstunnelmethode, met behulp van een serie fijnstofmetingen aan een houtkachel en een pelletkachel

2. **TFZ** - Vergelijkingsstudies uitgevoerd door het Duitse instituut Technology and Support Centre (TFZ)[5] in het kader van het technologisch samenwerkingsprogramma IEA Bioenergy en het EU project UltraLowDust, waarbij verschillende fijnstof meetmethoden zijn vergeleken en de invloed is onderzocht van diverse parameters op de concentratie fijnstof [EU Project UltraLowDust; Schon, C. et al., 2015; Bachmaier, H., 2016; Schon, C. et al., 2018; Schon, C., 2023; Schon, C. et al., 2022]

3. **VSB** – Vergelijkingsstudie uitgevoerd door de Tsjechische Technical University of Ostrava (VSB) in het kader van het EU project Real-LIFE Emissions, waarbij de EN-PME verwarmd filter methode is vergeleken met de verdunningstunnelmethode, met behulp van een serie fijnstof metingen bij verschillende houtkachels [Kubesa, P., 2022]

4. **RISE** – Vergelijkingsstudie uitgevoerd door het Zweedse onderzoeksinstituut RISE Fire Research AS en het Noorse SINTEF Energy Research[6], waarbij de verwarmd filter methode is vergeleken met de verdunningstunnelmethode bij 8 kachels onder verschillende condities (o.a. warmte afgifte, verbrandingssnelheid en type brandstof) [Kausch, F. et al., 2021; Seljeskog, M. et al., 2015]

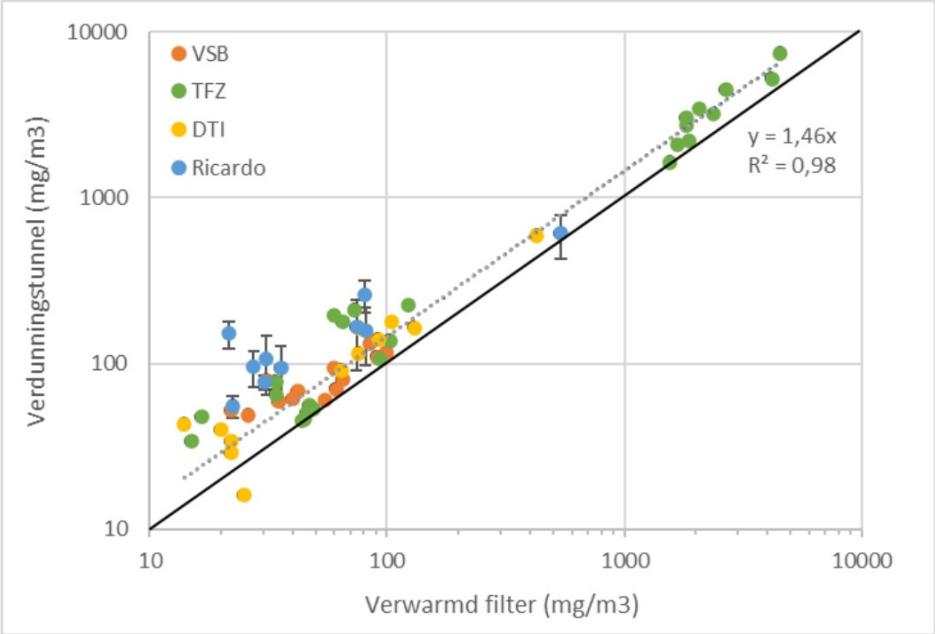
5. **Ricardo** - Vergelijkingsstudie uitgevoerd door het Britse onderzoeksinstituut Ricardo Energy & Environment[7], waarbij de verwarmd filter methode, de verdunningstunnel methode en de elektrostatische precipitator methode zijn vergeleken bij 7 kachels met nominale en lage belading [Stewart, S., 2017]

In bovenstaande studies zijn gelijktijdige fijnstof metingen uitgevoerd, zowel direct in het rookgaskanaal als in de verdunningstunnel die is aangesloten op het betreffende kanaal. Voor de bepaling van de fijnstofuitstoot wordt de massa stof op het filter of precipitator voor en na de meting gewogen. Voor de verdunningstunnel methode wordt deze massa nog gecorrigeerd voor de toegepaste verdunning in de tunnel.
Voor een vergelijking van de verschillende methoden is het belangrijk dat de fijnstofuitstoot wordt uitgedrukt in dezelfde eenheid. Traditioneel en zoals opgenomen in de EU Verordening worden de uitkomsten van de verdunningstunnelmethoden, met filter of elektrostatische precipitator, uitgedrukt in gram fijnstof per kg verbrand hout (g/kg). De uitkomsten van de verwarmd filtermethode worden echter uitgedrukt in mg fijnstof per m^3 doorgezogen lucht (mg/m^3). Dit maakt een directe vergelijking van de methoden vaak gecompliceerd.
Sommige vergelijkingsstudies hebben daarom ook de uitstoot van fijnstof in meerdere eenheden uitgedrukt (zowel mg/m^3 als g/kg), maar niet alle studies. En soms is de fijnstof uitstoot van de verschillende methoden ook nog uitgedrukt een andere eenheid: mg fijnstof per GigaJoule (GJ) energie input, op basis van de calorische waarde van het geteste hout.

[5] Status of PM emission measurement methods and new developments
[6] Comparison of test method EN 16510-1:2018 with EN-PME test method vs NS 3058-1/2:1994 and NS 3059:1994
[7] Assessment of particulate emissions from wood log and wood pellet heating appliances

2.2.1 Onderlinge vergelijking van gemeten emissiewaarden (vraag 1)

In alle studies zijn de metingen in het rookgaskanaal (onverdund rookgas) uitgevoerd met de verwarmd filter methode, maar hierbij zijn wel twee verschillende protocollen toegepast. RISE, TFZ en VSB hebben gebruik gemaakt van de EN-PME methode, waarbij het filter wordt verhit tot 180°C, terwijl Ricardo gebruik heeft gemaakt van de DINplus methode, waarbij een mildere verwarming van 70°C is toegepast. Van de meetcampagne van DTI is onbekend welk meetprotocol is toegepast. De metingen in de verdunningstunnel van het verdunde rookgas zijn in alle studies op dezelfde manier uitgevoerd: isokinetische bemonstering[8] bij een filtertemperatuur van 30-40°C.
Het is dat ook de filterbehandeling na afloop van de meting afwijkt tussen de verwarmd filter en verdunningstunnel methoden (zie Tabel 1). Zo wordt bij de EN-PME en DINplus methode het filter gedurende één uur gedroogd bij respectievelijk 180°C en 105°C, terwijl bij de verdunningstunnel methode het filter 24 uur in de exsiccator wordt gelegd.

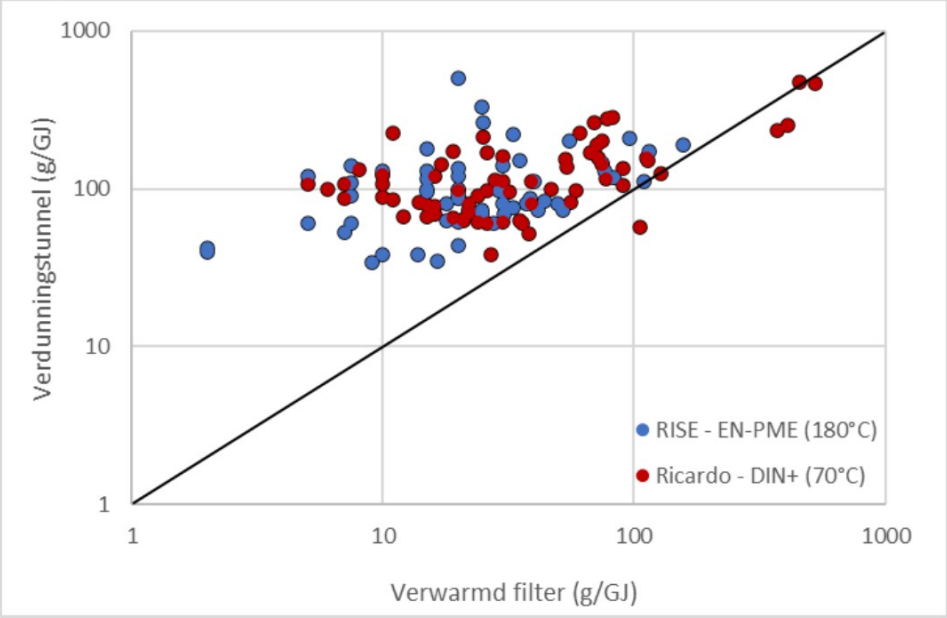


Figuur 2. Correlatie tussen de verwarmd filter methode en de verdunningstunnel methode, in mg/m^3, op basis van vergelijkingsmetingen uitgevoerd door de onderzoeksinstituten VSB, TFZ, DTI en Ricardo. De doorgetrokken lijn geeft de situatie waarbij met beide methoden dezelfde fijnstof uitstoot zou worden gemeten. Bij de fijnstof waarden van Ricardo zijn 'fouten balken' gegeven gebaseerd op de spreiding van 5 individuele metingen.

Het verschil in temperatuur tijdens de meting en tijdens de filterbehandeling zijn de belangrijkste oorzaken voor het verschil in fijnstof uitstoot tussen de verwarmd filter methode en verdunningstunnel methode: de lagere temperatuur in het verdunningssysteem leidt tot meer condensatie en extra vorming van secundaire organische stoffen en de droging van filters bij hogere temperatuur leidt tot vervluchtiging van semi-vluchtige bestanddelen in het fijnstof.
Zoals te zien is in Figuur 2, betekent dit dat met de verdunningstunnel methode een hogere fijnstof uitstoot wordt gemeten dan met de verwarmd filter methode. Ondanks de hogere

[8] Bij isokinetische bemonstering worden deeltjes uit de lucht verzameld met een snelheid die evenredig is aan hun concentratie, ongeacht de luchtsnelheid of de grootte of gewicht van de deeltjes. Het doel hierbij is om representatieve monsters van zwevende deeltjes te verkrijgen.

gemeten fijnstof uitstoot voor de verdunningstunnelmethode (ca. 46% hoger) is de correlatie tussen de gevonden waarden in mg/m^3 voor de verwarmd filter methode en verdunningstunnelmethode goed (R^2 = 0,98); zeker als rekening wordt gehouden met het feit dat de metingen zijn uitgevoerd door vier verschillende onderzoeksinstituten met verschillende kachels en onder verschillende omstandigheden (warmteafgifte, brandcyclus, type en vochtgehalte hout, etc.).
Bij lage fijnstofuitstoot (< 50-100 mg/m^3) lijkt het verschil tussen beide methoden wel steeds groter te worden en zit er meer spreiding in de metingen. Dit is relevant aangezien de Ecodesign PM uitstoot eis 40 mg/m^3 is en alle goede kachels dus in deze relatief lage uitstootrange moeten vallen.



Figuur 3. Correlatie tussen de verwarmd filter methode en de verdunningstunnel methode, in g/GJ, op basis van 2 datasets: RISE (EN-PME methode met verwarmd filter bij 180 °C) en Ricardo (DINplus methode met verwarmd filter bij 70°C). De doorgetrokken lijn geeft de situatie waarbij met beide methoden dezelfde fijnstof uitstoot zou worden gemeten.

De grotere afwijking tussen de twee methoden bij lagere fijnstofuitstoot is beter zichtbaar in Figuur 3, waar de individuele meetresultaten van de vergelijkingsstudies van Ricardo en van RISE staan weergegeven in g/GJ. Hierbij zijn de metingen uitgevoerd conform de officiële testmethoden zoals genoemd in de EU Verordening. De metingen met de verdunningstunnel zijn uitgevoerd conform NS-3058 en de metingen met het verwarmd filter zijn uitgevoerd conform EN 13240 met twee verschillende protocollen voor de bewerking na bemonstering: de DINplus methode (Ricardo), waarbij het filter is verwarmd tot 70°C en de EN-PME methode (RISE) waar het filter is verhit tot 180°C.
Voor emissiewaarden in Figuur 3 waarbij de verwarmd filter methode onder de 100 g/GJ geeft, worden met de verdunningstunnel waarden gevonden die enkele tientallen g/GJ hoger kunnen liggen. Het is waarschijnlijk dat de grotere afwijking tussen de methoden bij lagere fijnstof uitstoot heeft te maken met betere verbrandingscondities en het effect hiervan op de vorming van secundaire organische deeltjes uit organische gasvormige componenten (OGC). Dit wordt ondersteund door verdunningstunnel metingen van TFZ, in het kader van het EU project UltraLowDust [EU project UltraLowDust]. Bij hoge concentraties aan OGC wordt er een lineair verband aangetroffen met de concentratie fijnstof, echter bij steeds verder afnemende concentraties aan OGC is geen duidelijke afname in de fijnstof uitstoot te zien.

In Figuur 3 valt verder op dat de meetwaarden van de EN-PME en de DINplus nabewerkingsmethoden overlappen, wat erop duidt dat beide methoden vergelijkbare fijnstof resultaten geven (en het verschil in verwarmingstemperatuur na bemonstering dus niet veel uitmaakt). Dit is in overeenstemming met de vergelijkingstesten uitgevoerd door de onderzoeksinstituten TFZ en VSB (zie Figuur 7).
In Tabel 2 zijn de resultaten van de vergelijkingsmetingen uitgevoerd door RISE, Ricardo en DTI samengevat. Hierbij zijn de rekenkundig gemiddelden (AM), geometrische gemiddelden (GM) en mediaan waarden (middelste waarde van een data reeks) van de fijnstof metingen bij de diverse testen gegeven. Het rekenkundig gemiddelde wordt meer beïnvloed door uitschieters (extreem hoge waarden dan wel lage waarden). Het geometrische gemiddelde houdt meer rekening met waarden die het vaakst worden gemeten en lijkt wat dat betreft meer op de mediaan waarde. De testresultaten zijn hierbij, indien bekend, uitgedrukt in de verschillende eenheden die in gebruik zijn (mg/m^3, g/kg, g/GJ) om een betere indruk te krijgen van de onderlinge verhoudingen tussen de drie meetmethoden.

Tabel 2a. Vergelijking van de PM-uitstoot in mg/m^3, g/kg en g/GJ gemeten met drie meetmethoden onder verschillende condities, op basis van de datasets van RISE, Ricardo en DTI.

Condities		**Verwarmd filter**		**Verdunningstunnel**		**Tunnel en elektrostatische stofvanger**	
		mg/m3	**g/GJ**	**g/kg**	**g/GJ**	**g/kg**	**g/GJ**
Testen RISE conform NS 3058 / EN-PME methode / sparrenhout / 5 kachels / natuurlijke trek / 17 metingen	AM	26 ± 17	16 ± 10	3,2 ± 0,7	109 ± 29	-	-
	GM	17	13	3,2	105	-	-
	mediaan	23	15	3,5	115	-	-
Testen RISE conform EN16510 / 2 kachels / 12 Pa / berkenhout / optimale, realistische en hoge belasting / 18 metingen	AM	80 ± 51	46 ± 28	3,5 ± 2,4	129 ± 83	-	-
	GM	74	40	3,2	110	-	-
	mediaan	68	37	2,3	78	-	-
	AM optimale belasting	48	26	2,7	95		
	AM realistische belasting	99	55	3,7	129		
	AM hoge belasting	131	72	3,9	135		
Testen RISE conform NS 3058 en EN 13240 DIN+ / berkenhout en sparrenhout / burnrate 1,2 - 4,0 kg/h / nominale belasting+30 minuten meting vs realistische belasting+volledige brandcyclus / 23 metingen	AM	37 ± 39	33 ± 35	2,3 ± 2,0	114 ± 101	-	-
	GM	23	21	1,8	90	-	-
	mediaan	22	20	1,7	86	-	-
	AM realistische belasting	47	42	2,8	141		
	AM nominale belasting	12	11	1,0	52		
	AM sparrenhout	43	38	2,8	138		
	AM berkenhout	28	25	1,7	83		

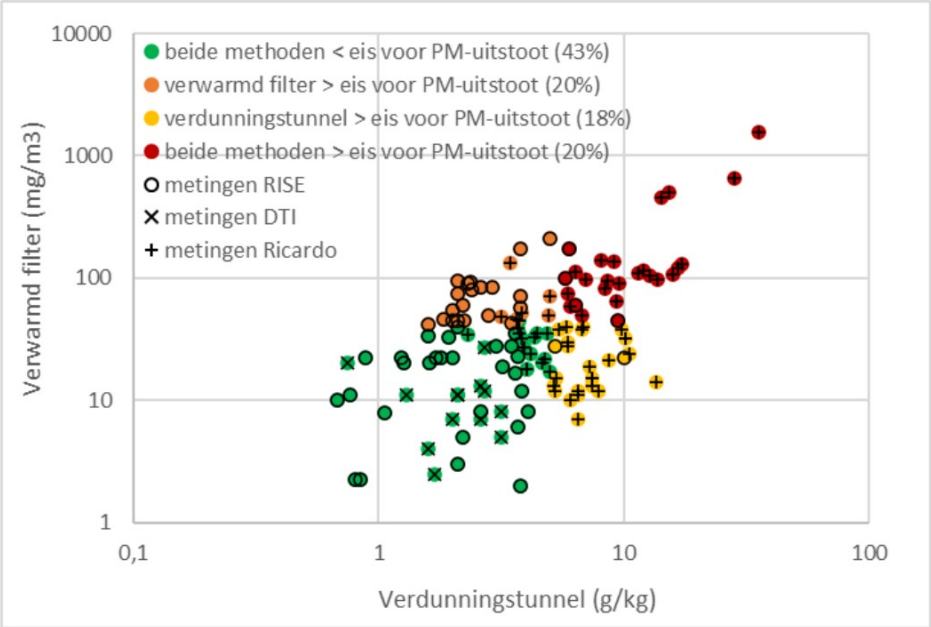
Tabel 3b. Vergelijking van de PM-uitstoot in mg/m^3, g/kg en g/GJ gemeten met drie meetmethoden onder verschillende condities, op basis van de datasets van RISE, Ricardo en DTI.

Condities		Verwarmd filter		Verdunningstunnel		Tunnel en elektrostatische stofvanger	
		mg/m3	g/GJ	g/kg	g/GJ	g/kg	g/GJ
Testen Ricardo conform EN13240-DIN+, NS3058 en BS 3841 / 6 kachels – 2x5 metingen per kachel / 13% O2 2 laboratoria / nominale en lage belasting	AM	96 ± 214	71 ± 166	8,3 ± 6,0	138 ± 98	4,9 ± 3,1	80 ± 51
	GM	45	29	7,0	116	3,8	63
	mediaan	38	26	6,5	108	4,3	72
	AM nominale belasting	56	42	6,8	112	4,8	79
	AM lage belasting	135	100	9,9	163	5,0	82
Testen DTI conform EN13240-DIN+ en NS3058 / 13 metingen	AM	11 ± 7		2,2 ± 0,7			
	GM	9		2,1			
	mediaan	11		2,1			

Uit de data in Tabel 2 blijkt dat de AM waarden over het algemeen iets hoger liggen dan de GM waarden, maar dat ze nog redelijk vergelijkbaar zijn, wat betekent dat er geen hoge uitschieters in de meetdata aanwezig is. Hierop is één uitzondering: de meetdata van de verwarmd filtermethode in de testen van Ricardo, daar is het AM ruim 2x hoger dan het GM, wat betekent dat er een enkele hoge fijnstof concentratie is gemeten. Dit is ook te zien in de hoge standaarddeviatie, die in maat is voor de spreiding in gemeten waarden. Verder blijkt dat met de verdunningstunnelmethode met filter de hoogste fijnstof concentraties worden gemeten. Deze liggen 3 – 8 keer hoger dan met de verwarmd filter methode en 1,5 – 2 keer hoger dan bij de elektrostatisch precipitator methode.
Bij nominale (optimale) belasting van de houtkachel worden voor alle methoden de laagste fijnstof concentraties gemeten, maar is het verschil tussen de verwarmd filter methode en verdunningstunnel methode het hoogst. Het verschil tussen beide methoden wordt steeds kleiner naarmate de kachel meer wordt belast. Bij lage (deel) belasting van de kachels wordt het verschil tussen beide methoden ook kleiner. Dit is relevant omdat de testen voor Ecodesign worden uitgevoerd bij nominale belasting, waarbij het verschil dus het grootst is.
Tenslotte blijkt dat sparrenhout tot meer (ca. 50-60%) fijnstof uitstoot leidt dan berkenhout. In de Europese normen EN 13240 en EN 16510 is als hardhout, waaronder berkenhout voorgeschreven, terwijl in de Noorse norm NS 3058 sparrenhout wordt gebruikt.

2.2.2 Vergelijking met PM-limieten en toleranties (vraag 2)

Effect van meetmethode op testuitslag
Ondanks het feit dat met de verwarmd filter methode een lagere fijnstof uitstoot wordt gemeten dan met de verdunningstunnel methode, kan op basis van deze vergelijking nog geen uitspraak worden gedaan of kachels met de ene of de andere methode vaker aan de eisen voldoet. Hiervoor moeten de resultaten ook worden vergeleken met de bij de norm behorende fijnstof uitstoot eisen, zoals opgenomen in de EU Verordening.



Figuur 4. Correlatie tussen de verwarmd filter methode en de verdunningstunnel methode op basis van 2 datasets: RISE (EN-PME methode met verwarmd filter bij 180 °C, zwart omcirkeld) en Ricardo (DINplus methode met verwarmd filter bij 70°C), waarbij de data is vergeleken met de eis voor PM-uitstoot (respectievelijk 40 mg/m3 en 5 g/kg). De percentages geven het deel van de metingen aan dat binnen dit criterium valt.

In Figuur 4 is de meetdata van Ricardo en RISE nogmaals uitgezet in een correlatiediagram, waarbij de data voor de verwarmd filter methode is uitgedrukt in mg/m^3 en de data voor de verdunningstunnel methode in g/kg. In aanvulling hierop zijn ook metingen van DTI meegenomen die in het kader van het EU project IMPRESS 2 [EU project IMPRESS 2] zijn uitgevoerd. De meetdata is ingedeeld in 4 categorieën die zijn aangeduid met verschillende kleuren:

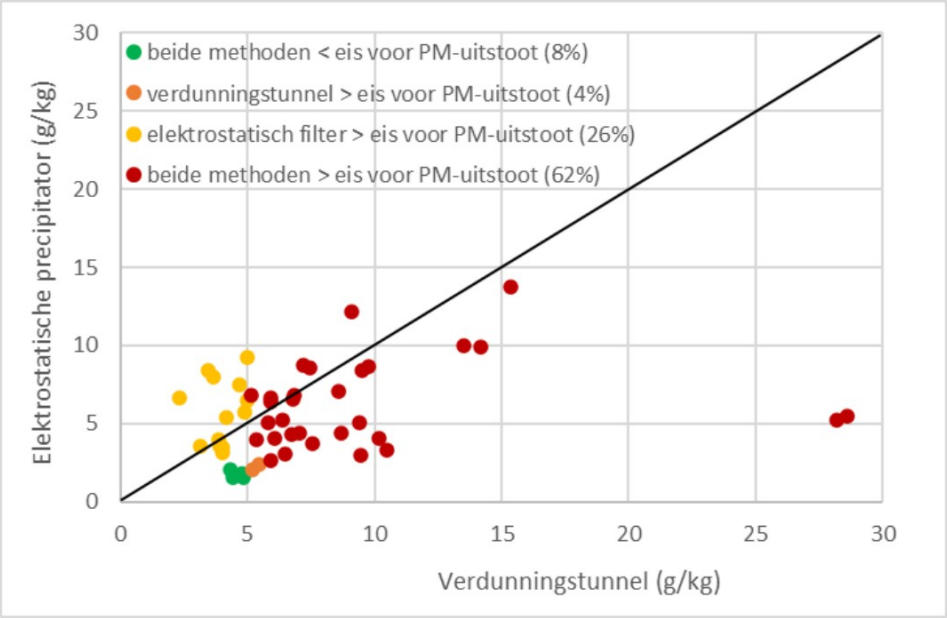
groen – beide meetmethoden geven een testresultaat dat voldoet aan de eis voor fijnstof uitstoot (dit is 40 mg/m^3 voor de verwarmd filter methode en 5 g/kg voor de verdunningstunnel methode).

rood – beide meetmethoden geven een testresultaat dat niet voldoet aan de eis voor fijnstof uitstoot.
oranje – alleen de verwarmd filtermethode geeft een testresultaat dat niet voldoet aan de eis voor fijnstof uitstoot.
geel – alleen de verdunningstunnel methode geeft een testresultaat dat niet voldoet aan de eis voor fijnstof uitstoot.

Op basis van de resultaten in Figuur 4 blijkt dat voor 63% van de metingen (43% < eis en 20% > eis) beide methoden eenzelfde testuitslag zouden opleveren. Voor 20% van de metingen geeft alleen de verwarmd filter methode een negatieve uitslag en voor 18% van de metingen geeft alleen de verdunningstunnel methode een negatieve uitslag. Het totale percentage waarbij de testuitslag van beide methoden niet overeenstemt (38%) is hiermee relatief hoog en de methoden zijn dus niet goed vergelijkbaar. Het is echter niet zo dat één van de methoden vaker tot conformiteit leidt dan de andere.

Op basis van de resultaten in Tabel 2 bleek ook dat bij nominale (optimale) belasting van de houtkachel het verschil tussen de verwarmd filter methode en verdunningstunnel methode het hoogst is. Daarom zijn aanvullend uit alle meetdata in Figuur 4 de fijnstof waarden

geselecteerd bij nominale belasting van de houtkachel. Hieruit blijkt dat in 56% van de metingen de verwarmd filter en verdunningstunnel methode eenzelfde testuitslag oplevert. In 22% van de metingen geeft alleen de verwarmd filter methode een negatieve uitslag en in 22% van de metingen geeft alleen de verdunningstunnel methode een negatieve uitslag. Dit is vergelijkbaar met de resultaten gebaseerd op alle meetdata, waarbij lage, nominale en hoge belasting is meegenomen. De keuze voor nominale belasting heeft dus geen duidelijke invloed op welke methode vaker een gunstige uitslag geeft.



Figuur 5. Correlatie tussen de verdunningstunnel methode met filter en met elektrostatische precipitator op basis van de dataset van Ricardo, waarbij de data is vergeleken met de eis voor PM-uitstoot (respectievelijk 5 g/kg en 2,5 g/kg). De doorgetrokken lijn geeft de situatie waarbij met beide methoden dezelfde fijnstof uitstoot zou worden gemeten.

In aanvulling op bovengenoemde vergelijking is in Figuur 5 op basis van de metingen van Ricardo ook de verdunningstunnelmethode met filter (methode 2) vergeleken met die met een elektrostatische precipitator (methode 3). Hierbij is dezelfde systematiek aangehouden als bij de vergelijking met de verwarmd filter methode, waarbij de meetresultaten van de verdunningstunnel methode met filter zijn getoetst aan de eis van 5 g/kg en de meetresultaten van de methode met een elektrostatische precipitator zijn getoetst aan de eis van 2,4 g/kg. Ook bij deze vergelijking blijkt dat voor het merendeel van de metingen (70%) beide methoden eenzelfde testuitslag zouden opleveren, maar dat bij gebruik van de elektrostatisch precipitator veel vaker een negatieve testuitslag wordt gevonden (26%) dan bij de verdunningstunnel met filter (4%). Het gebruik van een verdunningstunnelmethode met filter (methode 2) zou dus in dit geval relatief gunstiger zijn.

Effect van meetmethode op reproduceerbaarheid

Op basis van de vergelijkingstesten van RISE, Ricardo en TFZ, waar meerdere individuele metingen per kachel inclusief testcondities zijn uitgevoerd is voor de drie meetmethoden de **herhaalbaarheid** bepaald. De herhaalbaarheid geeft de spreiding in individuele meetresultaten weer, waarbij de test is herhaald met dezelfde kachel en onder identieke testcondities. Als maat voor de herhaalbaarheid geldt de variatiecoëfficiënt (relatieve standaardafwijking), uitgedrukt als percentage. Hoe hoger het percentage hoe groter de spreiding tussen de meetresultaten en hoe groter de meetonzekerheid.

Naast herhaalbaarheidstesten zijn ook verschillende meetcampagnes georganiseerd waarbij door verschillende testlaboratoria dezelfde kachels onder dezelfde testomstandigheden zijn bemeten. Op basis van de meetresultaten is hieruit de **interlaboratorium reproduceerbaarheid** bepaald, die de spreiding weergeeft tussen meetresultaten van de deelnemende laboratoria. In Tabel 4 zijn de variatiecoëfficiënten (CV %) gegeven die zijn gevonden bij deze twee soorten testen. Indien bekend, is bij meerdere kachels en testomstandigheden zowel de gemiddelde als (tussen haakjes) de minimale en maximale variatiecoëfficiënt gegeven.
Als prestatie-eis voor de herhaalbaarheid van een analyse- of testmethode wordt vaak 20% aangehouden. Daarom is voor een aantal herhaalbaarheidstesten van Ricardo ook het percentage testen (kachel + testcondities) gegeven met een variatiecoëfficiënt groter dan 20%, aangeduid als "herhaalbaarheid". De resultaten in Tabel 4 later zien dat de variatiecoëfficiënt van alle drie de fijnstof meetmethoden over het algemeen (in 9 – 85% van de gevallen) hoger ligt dan deze 20%, wat betekent alle drie de meetmethoden gepaard gaan met een grote meetonzekerheid. De verdunningstunnel methode lijkt een iets betere herhaalbaarheid te hebben dan de verwarmd filter methode. De methode met elektrostatisch precipitator (methode 3), heeft een vergelijkbare herhaalbaarheid als de verdunningstunnel methode met filter (methode 2).

Tabel 4. De herhaalbaarheid en interlaboratorium reproduceerbaarheid van de drie verschillende meetmethoden voor fijnstof, op basis van data van TFZ, RISE en Ricardo.

Studie	Aantal en type kachels	Meet-protocol	Verwarmd filter	Verdunnings-tunnel	Elektrostatisch precipitator
Herhaalbaarheid - variatiecoefficient CV (%)					
RISE [2021]	8 houtkachels	EN-PME	36%	30%	-
2017]	6 kachels	DIN+	40 (13-111) %	20 (1-50) %	29 (2-64) %
	5 houtkachels	DIN+	43 (18-111) % 85% CV>20%	27 (1-50) % 50% CV>20%	30 (16-64) % 85% CV>20%
	onbekend	onbekend	27 (6-53) % 50% CV>20%	32 (9-57) % 75% CV>20%	25 (9 – 38) % 65% CV>20%
TFZ [2016]	9 houtkachels	DIN+	9 (3-13) %		
Intralaboratorium reproduceerbaarheid - variatiecoefficient CV (%)					
TFZ 2016]	Pelletkachels [1] (7 testlabs)	beReal	32 – 37 %		
		prEN16510 – DIN+	9 – 20 %		
	Houtkachels [1] (7 testlabs)	beReal	29 – 43 %		
		prEN16510 – DIN+	29 – 44 %		
2017]	2 houtkachels [2] (2 testlabs)	DIN+	61%	45%	
DTI [IMPRESS-2]	1 pelletkachel [1] (7 testlabs)	EN-PME	16 (6-22) %		
	1 houtkachel [1] (7 testlabs)	EN-PME	18 (8-28) %		

1) gelijktijdige metingen aan dezelfde kachel met dezelfde testopstelling
2) metingen met verschillende testopstellingen

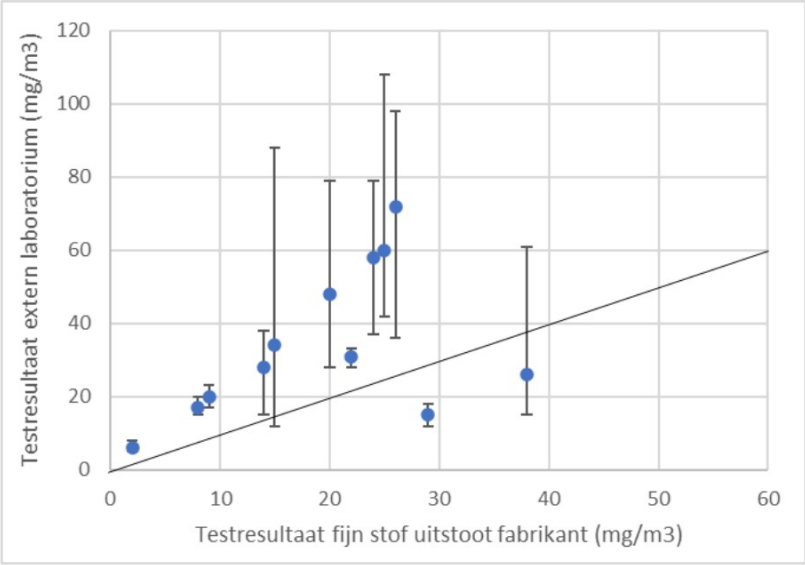
Over het algemeen is de interlaboratorium reproduceerheid beter dan de herhaalbaarheid, te zien aan de over het algemeen lagere variatiecoëfficiënten. Dit duidt erop dat de meetonzekerheid niet zozeer wordt bepaald door de het uitvoerende laboratorium, maar door de testmethode zelf. Uit de validatietesten die de afgelopen jaren door diverse onderzoeksinstanties (o.a. TZF en Ricardo) zijn uitgevoerd, waarbij het effect van testvariabelen op de fijnstofuitstoot is bestudeerd, blijkt dat testomstandigheden en brandstofkarakteristieken een grote invloed hebben op de uiteindelijke fijnstofuitstoot (zie Tabel 6). Voor een verbrandingsproces in een houtkachel is het lastig deze variabelen identiek te houden, wat zich uit in een grote meetonzekerheid.
Wel lijkt op basis van de interlaboratorium resultaten dat de reproduceerbaarheid van de EN-PME methode iets beter is dan de DINplus methode. Waarschijnlijk wordt dit veroorzaakt door de hogere temperatuur van het verwarmd filter (180° C in plaats van 70° C), waardoor condensatieprocessen een kleinere rol spelen. Daarnaast is de geoorloofde afwijking in temperatuur (+/- 10°C) van de EN-PME methode strenger dan de temperatuur eisen van de DINplus methode (70 – 160°C), wat ook een kleinere spreiding in testresultaten zal opleveren.

Verschillen metingen door fabrikant of door testlab
De grote meetonzekerheid van de fijnstof testmethoden maken een toetsing van het meetresultaat aan de eis voor fijnstof uitstoot in de EU Verordening gecompliceerd. Dit kan deels worden opgevangen door **meerdere testmetingen** uit te voeren, waarbij het gemiddelde van deze testen getoetst wordt. De verwarmd filter methode (conform EN 16510 en EN 13240) schrijft al 3 metingen voor en de elektrostatische precipitator methode (conform BS 3841) gaat zelfs uit van 5 metingen.

Tabel 5 geeft een overzicht van diverse pelletkachel en houtkachel type testen, uitgevoerd door de fabrikant zelf en door een extern controlelaboratorium. Het testresultaat van het externe laboratorium is vaak gebaseerd op meer individuele metingen dan het voorgeschreven aantal volgens de gehanteerde normmethoden.
Uit de resultaten blijkt dat in 8 van de 10 gevallen het testresultaat hoger uitkomt dan dat van de fabrikant zelf en in 7 van deze 8 gevallen ligt het gemiddelde testresultaat van de fabrikant zelfs niet binnen de minimaal en maximaal gemeten waarde van het externe laboratorium. Gemiddeld is het gemiddelde meetresultaat van het externe laboratorium meer dan een factor 2 hoger dan het gemiddelde resultaat van de fabrikant. De bevindingen in tabel 5 laten nogmaals zien dat de meetonzekerheid van de testmethode een complicerende factor is bij het toetsen van de fijnstof uitstoot aan de eisen voor EcoDesign kachels.

Tabel 5 Vergelijkbaarheid van houtkachel type testen uitgevoerd door de fabrikant en externe laboratoria

Kachel – belasting	Type testen (g/GJ - mg/m3)		Afwijking (%)
	Fabrikant	Extern lab	
Houtkachel - nominale belasting – 5-7 metingen [Bachmaier, H., 2016]	20 (8-28)	48 (28-79)	+140%
Houtkachel - deel belasting – 5-7 metingen [Bachmaier, H., 2016]	25 (15-55)	60 (42-108)	+140%
pelletkachel - nominale belasting – 5-7 metingen [Bachmaier, H., 2016]	14 (12-16)	28 (15-38)	+100%
Pelletkketel – 10-12 metingen [UltraLowDust]	9	20 (17-23)	+122%
Houtsnippers ketel – 10-12 metingen [UltraLowDust, 2017]	15	34 (12-88)	+127%
Houtketel – 10-12 metingen [UltraLowDust]	38	26 (15-61)	-32%
Inbouw houtkachel – 10-12 metingen [UltraLowDust]	24	58 (37-79)	+142%
Schoorsteen houtkachel – 10-12 metingen [UltraLowDust]	26	72 (36-98)	+177%
Houtkachel Nordic Air 7 - nominale belasting – 3 metingen [RISE, 2022]	8	17 (15-20)	+113%
Houtkachel Morsø 6141 – nominale belasting – 3 metingen (RISE, 2023]	29	15 (12-18)	-48%
Houtkachel - nominale belasting – 3 metingen [Schon, C., 2023]	2 (1,5-2,5)	6 (5-8)	+200%
Houtkachel - nominale belasting – 3 metingen [Schon, C., 2023]	22 (12-38)	31 (28-33)	+41%
Houtkachel - nominale belasting – 3 metingen [Schon, C., 2023]	70 (55-850	69 (68-70)	-1%



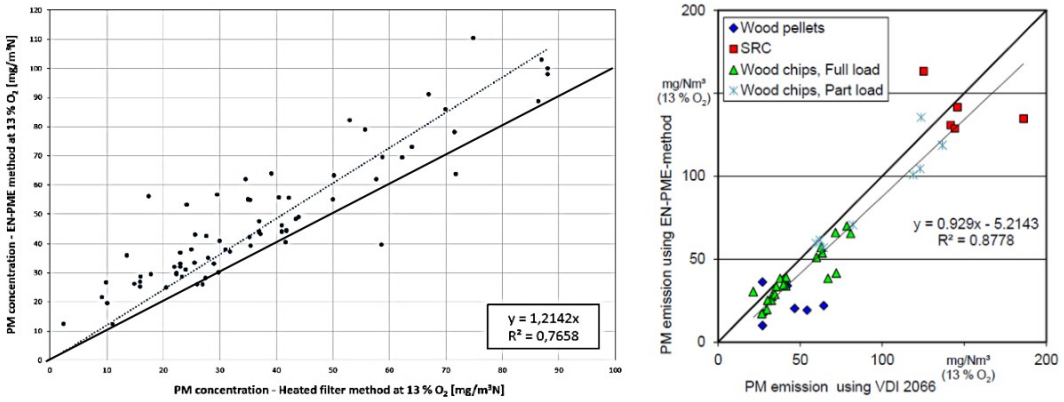
Figuur 6. Correlatie tussen het testresultaat fijnstof opgegeven door de fabrikant en de gemiddelde waarde gemeten door een extern laboratorium onder dezelfde testcondities als de fabrikant. De 'foutenbalken' geven de spreiding in individuele metingen van het externe laboratorium. De doorgetrokken lijn geeft de situatie waarbij met beide methoden dezelfde fijnstof uitstoot zou worden gemeten.

2.2.3 Afhankelijkheid van normversie en specifieke condities (vraag 3)

In aanvulling op de vergelijkingsstudies van de drie testmethoden is door o.a. Ricardo, TFZ en VSB de correlatie tussen de oude verwarmd filtermethode (conform EN 13240 + DINplus) en de nieuwe verwarmd filtermethode (conform EN 16510:2023 + ENPME onderzocht) [Stewart, S., 2017; Kubesa, P., 2022; Schon, C. et al., 2018]. Er zijn vier belangrijke verschillen tussen de methoden te onderscheiden:

1. **de temperatuur van het filter bij bemonstering**: DINplus 70°C vs. ENPME 180°C.
2. **de starttijd van bemonstering**: DINplus 3 minuten na ontsteking vs. EN-PME direct na ontsteking.
3. **de duur van bemonstering**: DINplus 30 minuten vs. EN-PME volledige verbrandingscyclus.
4. **de behandeling van het filter**: DINplus droging bij 105°C vs. EN-PME droging bij 180°C.

In Figuur 7 zijn de resultaten van TFZ en VSB in correlatiediagrammen samengevat. Uit beide vergelijkingsstudies blijkt dat, ondanks de verschillen in meetprocedure, de EN-PME methode en de DINplus methode vergelijkbare fijnstofconcentraties opleveren. De metingen van TFZ laten weliswaar zien dat met de EN-PME methode ca. 20% hogere fijnstofconcentraties worden gemeten, maar de metingen van VSB laten juist het tegenovergesteld zien, waarbij de DINplus methode ca. 10% hogere fijnstof concentraties oplevert. Gezien de grote spreiding in meetresultaten is het verschil tussen de metingen van TFZ en VSB ook nauwelijks significant te noemen.



Figuur 7 De correlatie tussen twee meetmethoden voor fijnstof: de DIN+ methode (“heated filter” – VDI 2066) en de EN-PME methode (rechts: TFZ meetcampagne: 37 metingen en links: VSB meetcampagne: 72 metingen). De doorgetrokken lijn geeft de situatie waarbij met beide methoden dezelfde fijnstof uitstoot zou worden gemeten.

Er zijn verder nog veel meer variabelen die een rol spelen bij een fijnstofemissietest, die vaak niet heel nauwkeurig omschreven zijn in de meetnormen, zoals:

- **De precieze testomstandigheden:** rookgastrek, brandstofmassa, warmteafgifte verbrandingssnelheid.
- **De testmethode en meettechniek:** schoorsteen, type verdunningstunnel, type elektrostatische precipitator, gebruikte fijnstof sampler.
- **Brandstofkarakteristieken:** houtsoort, vochtgehalte, stapeling, vorm en afmetingen.
- **De precieze testprocedure om tot een waarde te komen:** aantal testen, testduur, brandcyclus, mogelijkheid tot aanpassing van de luchttoevoer tijdens de test.

In Tabel 6 zijn de resultaten van diverse vergelijkingstesten, uitgevoerd door TFZ en Ricardo, weergegeven, waarbij het effect van diverse testparameters is onderzocht [Stewart, S. (2017); Schon, C. et al., 2018]. Het is duidelijk dat elk van deze variabelen de testresultaten aanzienlijk kan beïnvloeden. Standaardisatie van testparameters is dus essentieel voor een eenduidig resultaat. Wat verder opvalt is dat de spreiding in testresultaten toeneemt bij slechtere verbrandingscondities (o.a. vochtig hout).

Tabel 6 De effecten van diverse testcondities en meetparameters op de uitstoot van fijnstof op basis van data van TFZ en Ricardo.

Test conditie/parameter	**PM uitstoot (mg/m3)**		
Belasting	**100%**	**65%**	**30%**
	168 (140-205)	101 (95-105)	127 (110-140)
Rookgastrek	**12 Pa**	**24 Pa**	**48 Pa**
	44 (28-55)	65 (25-119)	57 (29-78)
PM meting - luchtsnelheid	**Isokinetisch**	**Isokinetisch-50%**	**Isokinetisch+50%**
Goede verbranding - droog sparrenhout 18% vocht	50 (47-58)	54 (51-59)	
	51 (48-52)		51 (48-52)
Slechte verbranding - nat sparrenhout 60% vocht	370 (280-480)	420 (280-560)	
	240 (180-300)		250 (230-280)
PM meting - oriëntatie	**180°**	**90°**	**0°**
Goede verbranding - droog sparrenhout 18% vocht	91 (80-111)	81 (74-99)	81 (75-100)
PM meting - meetduur	**30 min (na 3min), zonder ontsteking**	**33 minuten incl. ontsteking**	**Hele cyclus, zonder ontsteking**
Nominale belading / DINplus	81 (47%)	93 (30%)	62 (26%)
PM meting - filtertemperatuur	**Filter 70°C**	**Filter 120°C**	**Filter 180°C**
nat sparrenhout 59% vocht – filterdroging in exsiccator	1300 (800-2000)	1100 (680-1600)	580 (320-920)
nat sparrenhout 59% vocht – filterdroging bij 120°C	970 (610-1500)	890 (580-1400)	570 (310-910)
nat sparrenhout 59% vocht – filterdroging bij 180 °C	750 (470-1200)	690 (440-1100)	490 (280-810)
Nominale belading droog hout	81 (47%)		77 (26%)
Lage belading droog hout	36 (39%)		106 (52%)
Filterconditionering	**Drogen in exsiccator (20°C)**	**Drogen bij 120°C**	**Drogen bij 180°C**
droog sparrenhout 17% vocht	49 - 51	50 - 53	50 – 53
nat sparrenhout 55% vocht – meting in rookgaskanaal	2600 (1800-4500)	2300 (1600-4200)	1700 (1100-3100)
nat sparrenhout 55% vocht – meting in verdunningstunnel	4200 (2700-7500)	2900 (1600-5200)	2000 (1100-3500)

2.3 Conclusies vergelijking van testmethoden

Sinds 1 januari 2022 moeten houtkachels voldoen aan eisen uit bijlage II van de Verordening (EU) 2015/1185 ter uitvoering van Richtlijn 2009/125/EG, waaronder een eis aan de fijnstofuitstoot. In dit hoofdstuk zijn de drie goedgekeurde meetmethoden voor het bepalen van fijnstofemissies van kachels in detail met elkaar vergeleken. Hierbij is voornamelijk gebruik gemaakt van de resultaten van diverse validatie- en vergelijkingsstudies die voor landelijke overheden (DEFRA en Norwegian Environmental Agency) en in het kader van Europese onderzoeksprogramma's (IEA BioEnergy beReal, UltraLowDust, Real-LIFE en IMPRESS 2) zijn uitgevoerd.

In het algemeen leiden meetmethoden die gebruik maken van een verdunningstunnel tot hogere gemeten fijnstofemissiewaarden dan meetmethoden die gebruik maken van een verwarmd filter in de rookgasafvoer. Dit beeld wordt bevestigd door vrijwel alle vergelijkingsstudies. De lagere temperatuur in het verdunningssysteem leidt tot meer condensatie en extra vorming van secundaire organische deeltjes. Gemiddeld liggen de fijnstof waarden gemeten met een verdunningssysteem een factor 1,5 hoger dan gemeten in het onverdunde rookgas. Bij lage fijnstof uitstoot lijkt het verschil tussen de verwarmd filter en verdunningstunnel methode steeds groter te worden. Bij nominale (optimale) belasting van de houtkachel worden de laagste fijnstofemissiewaarden gemeten, waarbij het verschil tussen beide methoden kan oplopen tot een factor 8. Het is mogelijk dat dit verband houdt met betere verbrandingscondities en het effect op de vorming van onvolledige verbrandingsproducten en secundaire organische deeltjes.
In slechts één van de vergelijkingsstudies is de fijnstof meting met een elektrostatisch precipitator meegenomen. Deze methode wordt eigenlijk alleen gebruikt in het VK. Uit deze studie blijkt dat gemeten fijnstofemissiewaarden met de elektrostatisch precipitator ongeveer een factor 2 lager zijn dan met de verdunningstunnel. Echter ook hier is de correlatie bij lage fijnstof emissiewaarden slecht en worden met beide methoden vergelijkbare waarden gemeten.

Ondanks het feit dat met de drie meetmethoden andere fijnstofemissiewaarden worden gemeten, kan op basis hiervan nog geen uitspraak worden gedaan of een bepaalde methode tot meer goedkeur of afkeur leidt. Hiervoor moeten de gemeten waarden ook worden vergeleken met de fijnstof uitstoot eisen, zoals opgenomen in de EU Verordening. Bij een vergelijking tussen de verwarmd filter methode en de verdunningstunnel blijkt zowel bij nominale als hoge belasting dat ongeveer 60% van de metingen eenzelfde toetsingsresultaat geeft en in ca. 40% van de gevallen de toetsingsuitslagen afwijken. Echter, geen van de twee methoden leidt tot een gunstiger resultaat. De vergelijking tussen de elektrostatische precipitator methode en de verdunningstunnelmethode met filter geeft eenzelfde resultaat, echter hierbij suggereren de afwijkende metingen dat het gebruik van de verdunningstunnel met filter gunstiger kan zijn.

Op basis van de vergelijkingsstudies is ook inzicht verkregen in de meetonnauwkeurig van de drie meetmethoden. De meetonzekerheid wordt bepaald door de herhaalbaarheid (spreiding in emissiewaarden door hetzelfde laboratorium gemeten) en de reproduceerbaarheid (spreiding in de emissiewaarden gemeten door verschillende laboratoria). Over het algemeen is de meetonzekerheid van alle drie de meetmethoden hoog. Op basis van herhaalbaarheid lijkt de verwarmd filter methode (DINplus) iets slechter te scoren dan de verdunningstunnel en elektrostatisch precipitator. De reproduceerbaarheid is ongeveer vergelijkbaar met de herhaalbaarheid wat erop duidt dat de meetonzekerheid vooral wordt bepaald door de variatie in de testcondities.

Uit de validatietesten blijkt verder dat kleine variaties in testomstandigheden en brandstofkarakteristieken een grote invloed kunnen hebben op de uiteindelijke fijnstofemissiewaarden. Voor een verbrandingsproces in een houtkachel is het lastig deze variabelen identiek te houden, wat zich uit in een relatief grote meetonzekerheid. Wel lijkt de reproduceerbaarheid van de EN-PME methode iets beter te zijn dan de DINplus methode. Waarschijnlijk wordt dit veroorzaakt door de hogere temperatuur van het verwarmd filter, waardoor condensatieprocessen een kleinere rol spelen. Daarnaast is de geoorloofde afwijking in filtertemperatuur van de EN-PME methode kleiner dan voor de DINplus methode, wat ook een kleinere spreiding in testresultaten kan opleveren. De verschillen in meetprocedure tussen de EN-PME en DINplus methode leiden overigens niet tot andere fijnstofemissiewaarden; vergelijkingsstudies laten vergelijkbare (±20%) fijnstofconcentraties zien.

De grote meetonzekerheid van de fijnstof testmethoden maken een toetsing van het meetresultaat aan de eis voor fijnstofuitstoot in de EU Verordening gecompliceerd. Uit controletesten van kachels door externe laboratoria blijkt dat in 80% van gevallen de fijnstofemissiewaarde hoger te zijn dan de opgegeven waarde door de fabrikant. Gemiddeld komt de fijnstofemissiewaarde 2 keer hoger uit dan opgegeven door de fabrikant. In Tabel 7 zijn de afwijkingen op basis van de hertesten door externe laboratoria vergeleken met de grenswaarden en controletoleranties in de EU Verordening 2015/118 samengevat (in absolute waarden). Hieruit kan worden geconcludeerd dat de maximaal geconstateerde afwijkingen bij herhalingstesten hoger zijn dan de controletolerantie voor toezichthouders die in Verordening 2015/1188 is opgenomen. Voor de verwarmd filter methode zijn afwijkingen gevonden van 46 en 51 mg/m^3, terwijl de tolerantiegrens 20 mg/m^3 bedraagt. Voor de verdunningstunnel methode bedraagt de maximale afwijking 1,8 tot 6,4 g/kg, terwijl de tolerantiegrens 1 g/kg bedraagt. Voor de verdunningstunnel met elektrostatisch filter is geen informatie beschikbaar over hertesten en controletesten.
In conclusie kan worden gesteld dat standaardisatie van de meetprocedure en testomstandigheden en uniforme brandstofkarakteristieken essentieel zijn om de meetonzekerheid te minimaliseren zodat een eenduidig testresultaat kan worden bereikt.

Tabel 7 Vergelijking van de gemiddeld en maximaal geconstateerde afwijkingen bij hertesten door een extern laboratorium met de grenswaarden en controletolerantie uit de EU Verordening 2015/1185.

Meetmethode fijnstof uitstoot	Grenswaarde Bijlage II Verordening 2015/1185	Controletolerantie voor toezichthouders Bijlage IV Verordening 2015/1185	Gemiddelde/maximaal geconstateerde afwijkingen bij herhaling uit het literatuuronderzoek
verwarmd filter	40 mg/m^3 bij 13 % O_2	20 mg/mm^3	18 / 46 mg/m^3 [1)] 22 / 51 mg/m^3 [2)]
verdunningstunnel	5 g/kg (droge stof)	1 g/kg	1 / 1,8 g/kg [2)] 4,4 / 6,4 g/kg [3)]
elektrostatisch filterfilter	2,4 g/kg (droge stof)	0,8 g/kg	- [4)]

1) Data is afkomstig van diverse vergelijkingsonderzoeken van TFZ en RISE waarbij de fijnstof uitstootwaarden van hertesten door een extern laboratorium zijn vergeleken met de door de fabrikant opgegeven waarden [Bachmaier, H., 2016; EU project UltraLowDust; Schon, C., 2023]
2) Data is afkomstig van het vergelijkingsonderzoek van RISE op basis van herhalingstesten op 5 kachels door hetzelfde laboratorium [RISE, 2022; RISE 2023]
3) Data is afkomstig van het vergelijkingsonderzoek van Ricardo op basis van metingen van 2 kachels, waarbij de fijnstof uitstoot is gemeten door 2 laboratoria [Stewart, S. 2017]
4) Er is geen vergelijkingsdata beschikbaar voor de elektrostatisch filtermethode.

3 Internationaal beeld en handvatten voor inspecties

De kern van deze studie, namelijk de kwantitatieve vergelijking van verschillende meetstandaarden om fijnstof emissie van houtkachels te bepalen in relatie tot de Ecodesign wetgeving, is besproken in Hoofdstuk 2. Dit hoofdstuk bevat additionele informatie die op verzoek van ILT door TNO is verzameld en samengevat.
Het leeuwendeel van deze informatie is afgeleid uit persoonlijke mededelingen van experts. Zo is nagevraagd welke van de meetmethoden in verschillende landen gebruikt worden en welk deel van de kachels van binnen en buiten de EU geïmporteerd worden (vraag 4 en 6). Ook is er een korte inventarisatie gemaakt van zichtbare eigenschappen van houtkachels waar bij inspectie op gelet kan worden om in te schatten of aan de eisen wordt voldaan (vraag 5).

3.1 Internationale aspecten

In Nederland worden kachels geplaats die gefabriceerd zijn in verschillende delen van de wereld. Dit leidt ook tot verschillende meetmethoden die worden gebruikt voor de verschillende kachels. De ILT wil graag zicht op welke verschillende meetmethoden er in welke landen gebruikelijk zijn en hoe zich dit verhoudt tot leveringen van kachels uit verschillende delen van de wereld.

Tabel 1. Belangrijkste kenmerken van de verschillende testmethoden die in Europa worden gebruikt en de eisen voor PM-uitstoot in de EU Verordening 2015/1185 [Krpec K., 2023].

Methode EU Verordening	CPR	1 – verwarmd filter	2 - verdunningstunnel	3 – verdunningstunnel (opt. met elektrostatische precipitator)
Standaard	EN 16510-2-1:2023 EN 16510-1:2022,6.3.1 en 6.3.5 EN-PME	EN 13240 + DINplus + EN 16510-1:2013, G.2 EN-PME	CEN/TS 15883:2009 Annex A.2 NS 3058 / NS 3059 PM FFDT	CEN/TS 15883:2009 Annex A.3 PM FFDT
Land van oorsprong meetmethode	EU	EU (Duitsland/ Oostenrijk)	Noorwegen	Verenigd Koninkrijk
Aantal metingen	3 metingen bij nominale en gedeeltelijke warmteafgifte (als gespecificeerd door fabrikant)	3 metingen bij nominale warmteafgifte	enkelvoudige metingen bij 4 verschillende verbrandingssnelheden	5 metingen bij 3 verbrandingssnelheden + verkeerd gebruik (conform BS 3841)
Brandcyclus	volledige brandcyclus (zonder ontsteking)	30 minuten, na 3 minuten voor ontsteking	volledige brandcyclus (zonder ontsteking)	30 minuten, na 3 minuten voor ontsteking
Brandstof	Voornamelijk hardhout (beuk, berk, haagbeuk)	Voornamelijk hardhout (beuk, berk, haagbeuk)	Luchtgedroogde sparren	Haardhout
Massa brandstof	Berekend op basis van de door de fabrikant gedefinieerde warmteafgifte	Berekend op basis van de door de fabrikant gedefinieerde warmteafgifte	112 ± 11 kg/m3, op basis van het totale volume van de verbrandingskamer	-

Vochtgehalte	15 +/- 3%	16 +/- 4%	16-20%	< 20%
Rookgastrek	Gecontroleerd bij 12 Pa (nominale warmteafgifte) en minimaal bij 6 Pa (gedeeltelijke warmteafgifte)	Gecontroleerd bij 12 Pa	Natuurlijke rookgastrek	Gecontroleerd bij 12 Pa
PM meting	EN-PME methode, in de schoorsteen - over verwarmd filter (180°C)	DIN+ methode, in de schoorsteen - over verwarmd filter (70°C)	Isokinetisch - in een verdunningstunnel - filtertemperatuur ≤ 35°C	Electrostatische precipitator & optische smoke meting aan uiteinde schoorsteen of filtermethode in verdunningstunnel (conform BS 3841)
Filter behandeling	180 °C gedurende 1 uur	105 °C gedurende 1 uur	kamer temperatuur gedurende 24 uur	-
Eisen PM-uitstoot en tolerantie (bij 13% O2) conform de EU Verordening 2015/1185				
Hout	40 (+20) mg/m3	40 (+20) mg/m3	5 (+1) g/kg	2,4 (+0,8) g/kg
Pellets	20 (+10) mg/m3	20 (+10) mg/m3	2,5 (+1) g/kg	1,2 (+0,8) g/kg
Vaste fossiele brandstoffen	40 (+20) mg/m3	40 (+20) mg/m3	5 (+1) g/kg	5 (+0,8) g/kg

Tabel 1 van hoofdstuk 2 gaf al een eerste beeld van welke meetmethoden in welke Europese landen het meest gebruikelijk zijn, omdat de normen in die landen zijn ontwikkeld. Zo gebruiken fabrikanten en importeurs in Duitsland en Oostenrijk met name de verwarmd filter meetmethode (EN 13240 of DINplus), Noorwegen gebruikt een verdunningstunnel (NS 3058/NS 3059) en het Verenigd Koninkrijk gebruikt een elektrostatische stofvanger (CEN/TS 15883).

Een globaal overzicht van de in Nederland en de EU verkochte toestellen kon worden gegeven door de Stichting Nederlandse Haarden en Kachelbranche [Gelten, 2024]. De NHK verzamelt verkoopinformatie van de leden, waaronder fabrikanten, leveranciers en installateurs. Bij de NHK zijn vrijwel alle grote Nederlandse producenten en importeurs aangesloten. De NHK geeft aan dat volgens hun informatie verkoop binnen EU voor 90% toestellen geproduceerd in de EU, of het Verenigd Koninkrijk (VK) en Noorwegen betreft. Vrijwel alles wat in Europa wordt verkocht is dus van Europese origine. NHK schat verder dat de overige 10% die in Europa vooral via bouwmarkten en internet wordt verkocht, juist van Aziatische makelij is.

Wat betreft verkoop specifiek in Nederland geeft NHK aan dat 50% afkomstig is van Nederlandse producenten, 40% is afkomstig van andere EU landen (plus VK en Noorwegen) en ook weer ca. 10% afkomstig is van buiten Europa. Dit gedeelte wordt voornamelijk weer verkocht via bouwmarkten en via internet. Ook in Nederland geldt deze 10% voornamelijk van Aziatische makelij is.
NHK wijst er verder op dat bouwmarkten en internetverkopers in Nederland niet bij de NHK aangesloten zijn. In die zin vindt verkoop via deze kanalen dus buiten het blikveld van de NHK plaats. Deze verkoopkanalen zijn daarnaast ook niet aangesloten bij andere overlegvormen zoals het schone lucht akkoord.

Een eerdere grove schatting door TNO van het jaarlijkse aantal nieuw verkochte toestellen (vrijstaande kachels, inzethaarden en pelletkachels) bedraagt tussen de 10.000 en 30.000 toestellen.

3.2 Zichtbare eigenschappen van houtkachels ten aanzien van uitstoot en efficiëntie eisen

Ecodesign stelt minimale eisen aan zowel de fijnstofemissie als het thermisch rendement van houtverbrandingsapparatuur. De vraag of er zichtbare kenmerken bestaan op basis waarvan verondersteld kan worden dat rendements- of emissie-eisen mogelijk niet zullen worden gehaald, is aan een productontwikkelingsspecialist van een grote Nederlandse fabrikant [Smit, 2024] voorgelegd. De door hem gegeven informatie is in onderstaande verwerkt.

Een te laag rendement wordt met name veroorzaakt door ofwel een te grote luchtovermaat in de rookgassen, ofwel een te hoge rookgastemperatuur. Te hoge fijnstof emissie wordt door onvolledige verbranding, met name als gevolg van een afwezige of inadequate secundaire verbranding.

Alvorens hier verder op in gegaan wordt, worden eerst kort de functies van de verschillende luchtstromen waar een moderne houtkachel gebruik maakt toegelicht:

- Primaire lucht: via de stookbodem (rooster); nodig om de koude houtblokken te doen ontgassen en voldoende temperatuur te genereren dat de pyrolysegassen ontbranden; over het algemeen alleen nodig gedurende de eerste paar minuten na belading en tijdens de eerste aanmaak belading

- Secundaire lucht: via de achterwand; nodig gedurende het gehele verbrandingsproces; zorgt voor een zo volledig mogelijke verbranding van de verbrandings-/pyrolysegassen
- Ruitbeluchting: via bovenzijde van het venster; nodig gedurende het gehele verbrandingsproces om roetaanslag op de ruit te voorkomen; draagt echter ook bij aan de naverbranding en de primaire verbranding (deze luchtstroom valt immers naar beneden tegen de houtblokken aan)

Verder gelden om een optimale verbranding te bewerkstelligen drie regels die betrekking hebben op temperatuur, tijd en turbulentie:
- Tijd: voldoende verblijftijd voor de gassen om volledig te verbranden bij voldoende hoge temperatuur.
- Temperatuur: voldoende hoge temperatuur door goede isolatie van de verbrandingskamer.
- Turbulentie: voldoende turbulentie voor een goede menging van de verbrandingsgassen met de verbrandingslucht.

3.2.1 Te hoge luchtovermaat

Een te hoge luchtovermaat in de rookgassen kan voorkomen bij een interieur van bijvoorbeeld gietijzer, zonder deugdelijke thermische isolatie daarachter. Dit veroorzaakt dan een relatief koude verbrandingskamer met een hoge luchtovermaat als gevolg. Indien het interieur van Vermiculiet of een ander goed isolerend keramiek is gemaakt zal waarschijnlijk wel aan de rendement eis worden voldaan. Een tweede reden voor een te hoge luchtovermaat kunnen de gebruiksinstructies zijn. Indien de gebruiksaanwijzing een belading voorschrijft die abnormaal laag is ten opzichte van de oppervlakte van de stookbodem, en er wordt daarnaast gesteld dat dit de nominale belading is, dan zal bij het stoken op deze belading de luchtovermaat eigenlijk te hoog zijn en niet aan de rendementseis voldaan worden.

3.2.2 Te hoge schoorsteentemperatuur

Een te hoge schoorsteentemperatuur (de tweede reden voor een laag rendement) kan het gevolg zijn van de afwezigheid van secundaire luchttoevoer (normaal via openingen in de achterwand). Dit zal met name een effect hebben op de rookgasemissies. De haard is in dat geval afhankelijk van primaire lucht (via het rooster) en ruit beluchting. Door met name de primaire lucht kan de verbrandingssnelheid dermate groot worden dat dit uiteindelijk resulteert in een hoge schoorsteen temperatuur. De primaire lucht zorgt voor een stijging van de rookgastemperatuur omdat het vuur hierdoor voortdurend wordt aangejaagd. Omdat ruitbeluchting ook gedeeltelijk het vuur aanjaagt zal ook hierdoor (beperkt) de temperatuur stijgen. Door te stoken met alleen secundaire lucht (en ruitbeluchting) zal de brandstof op een meer beheerste manier ontgassen en een betere meer volledige verbranding worden bereikt.

Er dient opgemerkt te worden dat openingen voor secundaire lucht niet altijd goed zichtbaar zijn (vanwege design redenen), maar ondanks dat wel degelijk aanwezig kunnen zijn. Bij inspectie van het toestel verdient het de voorkeur om rechtstreeks te informeren naar de aanwezigheid van openingen voor secundaire luchttoevoer bij de fabrikant of leverancier.
Een tweede reden voor een te hoge schoorsteentemperatuur kan een te kleine remplaat boven in de haard zijn (zeker indien deze als enige remplaat aanwezig is), waardoor er een grote doorstroomopening naar de schoorsteen ontstaat. Dit leidt dan weer tot een hoge schoorsteentemperatuur en verlaagd rendement. De grotere remplaat of meerdere remplaten gaan dit tegen.
Tenslotte dient te worden opgemerkt dat een hoge schoorsteen temperatuur, met betrekking tot de rendement bepaling, samen kan gaan met juist een lage luchtovermaat en omgekeerd

(lage schoorsteentemperatuur – hoge luchtovermaat). In deze gevallen kan dan het rendement alsnog voldoen. Eerder beschreven uiterlijke kenmerken dienen dus beschouwd te worden als mogelijke aanwijzingen voor een (te) laag rendement, maar hoeven niet per se hiertoe te leiden.

3.2.3 Te hoge fijnstof emissie door onvolledige verbranding

Om aan de huidige strenge emissiegrenswaarden te voldoen zijn voorzieningen voor secundaire verbranding essentieel. Secundaire verbranding vindt plaats boven het vuur, door aanvoer van secundaire lucht via de achterwand. Indien een toestel niet beschikt over dergelijke voorzieningen zullen de Ecodesign emissienormen zeer waarschijnlijk niet gehaald kunnen worden.
Voor een zo volledig mogelijke verbranding is verder voldoende uitbrandhoogte nodig. Het is echter moeilijk op voorhand te bepalen of een bepaalde geconstateerde hoogte van de verbrandingsruimte voldoende is. Daarvoor spelen nog andere factoren, zoals de mate van isolatie van de verbrandingskamer en de stromingspatronen van de lucht in de verbrandingskamer een belangrijke rol.
Gemiddeld genomen kan verder worden gesteld dat een verbrandingskamer met Vermiculiet bekleding over het algemeen een lagere emissie geeft dan een verbrandingskamer enkel van gietijzer.
Met behulp van de katalysator kan de CO en VOC emissie verder worden gereduceerd maar een katalysator is niet essentieel voor het halen van de Ecodesign fijnstof norm. Een katalysator kan ook het rendement van het toestel iets verhogen.

3.3 Emissie volgens meetprotocollen vergeleken met de werkelijke emissie

Een verdere overweging bij het beoordelen van de milieuprestaties van houtverbrandingsapparatuur is hoe de werkelijke emissie van het toestel zich in de praktijk verhoudt tot emissie tijdens het typegoedkeuringsproces. Kort gezegd komen omstandigheden tijdens emissiemetingen voor typegoedkeuring meestal neer op het gebruik van standaard kwaliteit brandstof en een nominale belasting van het toestel. In veel onderzoeken is het echter duidelijk geworden dat wanneer niet aan de voorwaarden ten aanzien van de beladingsgraad en de brandstofkwaliteit wordt voldaan, de emissie van het toestel vele malen hoger kan zijn. Dit is met name regelmatig het geval bij moderne toestellen die in principe onder ideale omstandigheden aan strenge emissienormen voldoen.
In verschillende studies is voor moderne houtverbrandingstoestellen het effect van het suboptimaal bedrijven (zoals deellast, smoren, overbelading) van het toestel, of het gebruik van te vochtig of juist te droog hout onderzocht. Zo hebben Kindbom en Mawdsley gevonden dat bij de door hen geteste kachels deellast bedrijf (30% van de nominaal) resulteerde in een gemiddelde toename van de fijnstofemissie met een factor 1,5 tot 3. Het Noorse NS3058 meetprotocol dat uitgaat van voornamelijk deellast werd hier voor hetzelfde toestel vergeleken met de Europese EN 16510 protocol dat voornamelijk van nominaal bedrijf uitgaat. De Noorse standaard resulteerde hierbij in een factor 5 hogere fijnstofemissie.
Ook met betrekking tot brandstofkwaliteit en dan met name het vochtgehalte van het hout werd een grote invloed van de gebruiker van het toestel gevonden. Kindbom en Mawdsley vonden dat het gebruik van hout met een vochtgehalte van 25 – 30% in plaats van optimale 15 – 20% de fijnstofemissie met factoren verhoogde. CBS schat dat 20% van het in Nederland gebruikte hout een te hoog vochtpercentage heeft. Kindbom en Mawdsley stelden daarom ook dat ieder meetprotocol van een realistisch percentage suboptimaal bedrijf van het toestel

en een bepaald percentage te vochtig hout uit zou moeten gaan. Bij Ecodesign is dat thans (nog) niet het geval. Een voorbeeld van een meer realistisch meetprotocol is BeReal, ontwikkeld in het Europese BeReal Project (BeReal: Advanced Testing Methods for Better Real-Life Performance of Biomass Room Heating Appliances). Een dergelijk meetprotocol zal een eventuele hoge gevoeligheid van een bepaald toestel voor suboptimaal bedrijf of te vochtig hout aan moeten kunnen tonen. Op dit moment is de gevoeligheid van een toestel voor suboptimaal bedrijf geen onderdeel van de Ecodesign testprocedure.
Concluderend moet hierom op dit moment gesteld worden dat het testen of het toestel aan de wettelijke norm voldoet en het doen van representatieve metingen om de werkelijke emissie van een toestel te bepalen, niet zondermeer hetzelfde doel hebben, en ook tot sterk verschillende resultaten kunnen leiden. De invloed van de gebruiker is daarentegen bij een pelletkachel gering. Ook hebben verkochte houtpellets meestal het juiste vochtgehalte. Voor dit type kachel geven emissiemetingen onder standaard condities wel een realistisch beeld van de werkelijke emissie.

3.4 Samenvatting hoofdstuk 3

Er is gekeken naar de gebruikte meetmethoden in verschillende landen en de verhouding tussen de import van kachels binnen en buiten de EU. Duitsland en Oostenrijk hanteren voornamelijk de verwarmd filtermethode. In Noorwegen en de Scandinavische landen wordt met name gebruik gemaakt van de verdunningstunnel en in het Verenigd KoninkrijkGroot-Brittannië gebruikt men voornamelijk de elektrostatische precipitator methode.
Verkoopstatistieken van de Stichting Nederlandse Haarden en Kachelbranche (NHK) suggereren dat 90% van de in de EU verkochte verwarmingstoestellen van Europese oorsprong is, terwijl 10% voornamelijk Aziatisch is, verkocht via bouwmarkten en internet. In Nederland komt 50% van de verkochte toestellen van Nederlandse producenten, 40% uit andere EU-landen, het VK en Noorwegen, en ca. 10% van buiten Europa, met name Aziatisch via bouwmarkten en internet. Eerder schatte TNO het jaarlijkse aantal verkochte toestellen tussen de 10.000 en 30.000.

Er is ook gekeken naar zichtbare eigenschappen van houtkachels en hun relatie tot emissie- en efficiëntie-eisen, die mogelijke handvatten bieden voor inspecties. Mogelijke indicatoren voor zowel een te laag rendement als te hoge fijnstofemissie zijn:

- **Een hoge luchtovermaat.** Bijvoorbeeld bij een interieur van gietijzer zonder deugdelijke thermische isolatie, wat leidt tot een relatief koude verbrandingskamer.
- **Een te hoge schoorsteentemperatuur.** Bijvoorbeeld door de afwezigheid van secundaire luchttoevoer, wat kan leiden tot een hogere rookgastemperatuur.
- **Onvoldoende voorzieningen voor secundaire verbranding.** Bijvoorbeeld door luchttoevoer via de achterwand.

Opmerking:
Dit onderzoek is gericht op beoordeling van de houtkachels, waarbij testen plaats vinden in optimale/kunstmatige omstandigheden. De testresultaten zijn dus alleen bruikbaar en bedoeld voor de onderlinge vergelijking van kachels, zoals voor een gedegen inspectie nodig is. Voor representatieve emissie berekeningen van de uitstoot van kachels in wijken in Nederland, zoals nodig voor de jaarlijkse cijfers m.b.t. residential combustion van de Emissie Registratie, zijn de bij deze tests gemeten fijnstofwaarden niet bruikbaar. Wel zou het uitwerken van een heldere correlatie tussen de uitkomsten van de tests en gemeten/berekende emissies in praktijksituaties aanknopingspunten kunnen bieden bij de keuze of ontwikkeling van een zo representatief mogelijke norm.

4 Ondertekening

Aldus getekend, **19 maart** 2024

[redacted]

Review

[redacted]
Deputy Research Manager
Environmental Modelling, Sensing & Analysis

[redacted]

[redacted]
Research Manager
Environmental Modelling, Sensing & Analysis

[redacted]

[redacted]
Project Manager
Environmental Modelling, Sensing & Analysis

Referenties

Met dank aan:

[redacted] Voorzitter Nederlandse Haarden en Kachelbranche, Persoonlijke correspondentie

[redacted] Product Development Engineer Barbas Bellfires Bladel, Persoonlijke correspondentie

Andere bronnen:

[redacted] I. (2018). Emission factors for SLCP emissions from residential wood combustion in the Nordic countries.

[redacted] (2010). Overview on technologies for biomass combustion and emission levels of particulate matter. Swiss Federal Office for the Environment (FOEN), Zürich, Switzerland.

Contribution TFZ for **EU project UltraLowDust:** https://cordis.europa.eu/project/id/268189

Contribution DTI for **EU project IMPRESS 2:** IMPRESS 2 at CEN/TC 295/WG 5 - IMPRESS 2 (npl.co.uk)

[redacted] (2017). Assessment of particulate emissions from wood log and wood pellet heating appliances, Ricardo Energy & Environment report ED 59799021

[redacted] (2021). Comparison of test method EN 16510-1:2018 with EN-PME test method vs NS 3058-1/2:1994 and NS 3059:1994, RISE report 20012-72

[redacted] (2017). Variables affecting emission measurements from domestic wood combustion, Energy Procedia 105, 596 – 603

[redacted] J. (2015). Entwicklung einer abgestimmten Methode zur Bestimmung der Partikelemissionen von mit fester Biomasse betriebenen Feuerstätten (EN-PME-Test), Technologie- und Förderzentrum (TFZ), 2203411-11NR324

[redacted] beReal: Advanced Testing Methods for Better Real Life Performance of Biomass Room Heating Appliances, Technologie- und Förderzentrum (TFZ), FP7-SME-2013-2

RISE report O100222-1134271-6, Testing of a solid fuel local space heater, model Morsø 6141, 2022

RISE report O100222-1134271-15, Testing of a solid fuel local space heater, model Nordic air 7 (4 appendices), 2023

[redacted] **(2018).** Status of PM emission measurement methods and new developments, Technology collaboration programme IEA Bioenergy Task 32, Technologie- und Förderzentrum (TFZ)

[redacted] **2022).** Advanced Test Methods for Pellet Stoves – Report on Real-Life Operation on Stove Performance, Technology collaboration programme IEA Bioenergy Task 32

[redacted] **(2018).** Advanced Test Methods for Firewood Stoves – Report on Real-Life Operation on Stove Performance, Technology collaboration programme IEA Bioenergy Task 32

[redacted] **(2023).** Real LIFE emission test protocol for stoves Suggestions and preliminary results, Technologie- und Förderzentrum (TFZ), Real-LIFE Emissions - 2nd International Workshop 26th October 2023

[redacted] **(2022).** Comparison of different sampling methods in hot and
diluted flue gas - Preliminary results, Technologie- und Förderzentrum (TFZ), Real-LIFE Emissions – 1st International Workshop 9th November 2022

[redacted] **(2022).** Overview of PM measurement methods for local space heaters burning solid fuels and results from VSB campaign focused on PM sampling methods, Technical University of Ostrave (VSB) Real-LIFE Emissions – 1st International Workshop 9th November 2022

[redacted] **(2023).** Comparison of existing test protocols for type testing and more real life test protocols available on the market with focus on stoves, Technical University of Ostrave (VSB), Real-LIFE Emissions – 2nd International Workshop 26th October 2023