

Leeghwaterstraat 44
2628 CA Delft
Postbus 6012
2600 JA Delft

www.tno.nl

T +31 88 866 22 00

TNO-rapport

TNO 2018 R11055

Openbaar eindrapport VentKook Ventilatiesysteem met goede kookafzuiging

Datum	20 september 2018
Auteur(s)	ir. P. Jacobs
Aantal pagina's	40 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	--
Opdrachtgever	TKI Urban Energy Projectnr. TEUE 116242 Penvoerder: TNO Partners: ATAG Nederland B.V. Bribus B.V. Koppen Vastgoed
Projectnaam	VentKook
Projectnummer	060.24109

Alle rechten voorbehouden.

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

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2018 TNO

Samenvatting

Binnenluchtkwaliteit is nog een zwakke schakel in de realisatie van energie-efficiënte woningenconcepten. In veel nieuwbouw woningen en gerenoveerde woningen zijn geen speciale voorzieningen getroffen voor kookafzuiging en wordt volstaan met de Bouwbesluit minimum ventilatie eis van 75 m³/uur afvoer in de keuken. Uit een door TNO uitgevoerde veldstudie in 9 woningen blijkt dat deze situatie tot forse fijnstofconcentraties in de woonkamer/keuken kan leiden, met piek concentraties PM_{2.5} in de orde grootte van 100 tot bijna 2000 µg/m³. Door de hoge luchtdichtheid van de woningen blijft het door koken gegenereerde fijnstof uren hangen, waardoor de binnenconcentratie PM_{2.5} langdurig boven de WHO advieswaarde van 10 µg/m³ jaargemiddeld blijft.

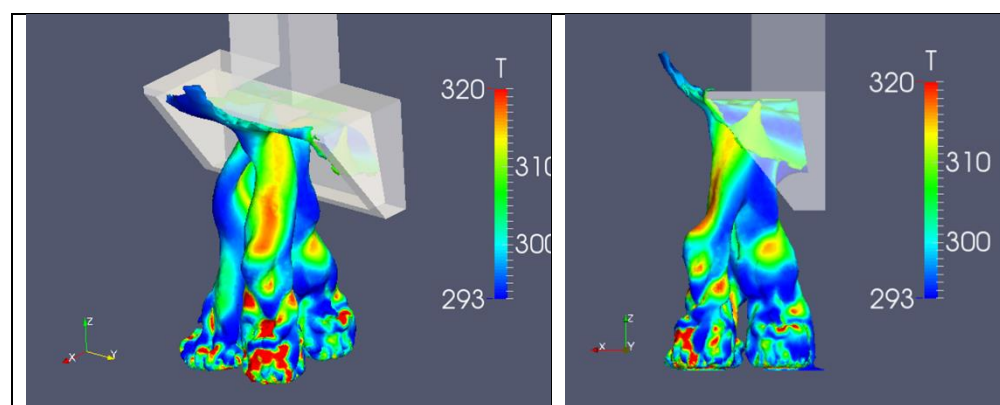
Het doel van het project is daarom het wegnemen van “inefficiënte kookafzuiging” als barrière voor het realiseren van gezonde en energie efficiënte woningen.

WP 1 Functionele eisen en PvE

Op basis van eerder door TNO uitgevoerd onderzoek en een literatuuronderzoek is een eenvoudige modelmatige beschrijving gegeven van de relatie tussen kookemissies, de afzuigefficiëntie van de kookafzuiging en de woonhuisventilatie op de restblootstelling. Op basis hiervan is onder meer een minimale afzuigcapaciteit afgeleid en heeft TNO, in consultatie met de partners, een programma van eisen opgesteld.

WP 2 Conceptontwikkeling

In dit werkpakket zijn conceptoplossingen gegenereerd voor gebruikersvriendelijke ventilatiesystemen voor energiezuinige woningen inclusief kookafzuiging. Er zijn onder meer concepten onderzocht voor een afzuigkap in combinatie met een ventilatiesysteem. Daarbij is gekeken naar vraagsturing, een ontwerp voor een lagedruk kanaalsysteem en zijn CFD berekeningen uitgevoerd om de vangst efficiëntie van motorloze afzuigkappen te onderzoeken, geïllustreerd in onderstaande figuur.



'Horeca' afzuigkap, berekende afzuigefficiency 78% bij 300 m³/uur, links vooraanzicht en rechts zijanzicht.

Verder is gekeken naar conceptuele oplossingen voor effectieve kookafzuiging, onafhankelijk van ventilatiesysteem, te weten een recirculatiekap met fijnstof filter en een gebalanceerde afzuigkap. Tenslotte zijn concepten onderzocht voor feedback naar gebruikers.

WP 3 Bouw proefmodellen

Door partner ATAG zijn proefmodellen gemaakt van een recirculatiekap met fijnstof filter, een motorloze afzuigkap en een gebalanceerde afzuigkap. Deze zijn in WP5 beproefd.

WP4 Bepalingsmethode vangstefficiëntie

Doelstelling was te komen tot een bepalingmethode waarmee de vangstefficiëntie en daarmee de blootstelling aan contaminanten zoals PM_{2.5} onder realistische kookcondities bepaald kunnen worden. De ontwikkelde methode wijkt af van bestaande ASTM en de IEC methoden die vooral gericht zijn om afzuigkappen met elkaar te vergelijken. De nieuw ontwikkelde methode is gebaseerd op inductief koken en is gelimiteerd tot afzuigkappen die aan de wand worden gemonteerd. Voor plafond-, eiland-, en downdraft afzuigkappen dienen aanvullende methoden te worden ontwikkeld.

WP 5 Laboratorium beproeving van afzuigkappen

De drie gebouwde proefmodellen voor afzuigkappen, te weten een recirculatiekap, een motorloze afzuigkap (aan te sluiten op het ventilatiesysteem) en een balanskap met aparte afzuiging naar buiten zijn in het MEC-lab van TNO beproefd. Onder meer zijn efficiëntie metingen verricht met de voorgestelde inductie methode aan verschillende typen afzuigkappen, weergegeven in onderstaande tabel. Op basis van de meetresultaten en CFD resultaten is voor de NeroZero woning de T-shape gekozen. ATAG heeft de T-shape aangepast zodat vanaf de afzuigkap het ventilatiesysteem kan worden aangestuurd. Metingen in de NeroZero woning toonden aan dat met de motorloze afzuigkap 300 m³/h kon worden afgezogen zonder dat enig geluid in de keuken merkbaar was. Het ontbreken van geluid is ten opzichte van conventionele afzuigkappen een zeer groot voordeel. Voor het verbeteren van de afvangst van fijnstof met een recirculatiekap zijn er diverse soorten filters getest. Het ontwikkelde proefmodel van de gebalanceerde afzuigkap is beproefd op thermisch comfort, in het bijzonder op tocht door uitblaas van voorverwarmde buitenlucht uit de schouwkap.

WP 6 Inbedding in de regelgeving

De CEN TC 156 is bezig met de revisie van EN 13141- "Ventilation for buildings - Performance testing of components/products for residential ventilation - Part 3: Range hoods for residential use without fan". Fijnstof was nog niet in de norm opgenomen. In overleg met de Nederlandse vertegenwoordiger in deze werkgroep is er voor gekozen om op basis van onderzoek in VentKook een innovatieve methode te ontwikkelen om de bijdrage van koken aan de totale blootstelling aan fijnstof die bewoners oplopen te berekenen. Om dit verder te exploreren is contact gezocht met de research groep in Berkeley (LBNL) die ook veel onderzoek uitvoert naar het effect van kookafzuiging. Samen met LBNL zijn twee artikelen geschreven voor de Indoor Air conferentie in Philadelphia (juli 2018) en de AIVC conferentie in Antibes Juan-Les-Pins (Fra), september 2018. Beoogd wordt om de feedback die in deze conferenties wordt opgedaan te gebruiken om een gedragen voorstel in de CEN TC 156 in te brengen.

De project resultaten gaven aanleiding tot de volgende algemene conclusies en aanbevelingen.

- Op basis van de metingen en simulaties in dit project wordt wat betreft kookafzuiging een afzuigcapaciteit van minimaal 83 dm³/s (300 m³/uur) aanbevolen. Dergelijke debieten vereisen voldoende ruime afvoerkanalen die reeds in het ontwerp dienen te worden geïntegreerd. Ook moet bewoners de mogelijkheid worden geboden kookafzuiging met een afvoer direct naar buiten te realiseren. Te denken valt aan een kanaal van 180 mm met maximaal 2 ruime bochten. Metingen in de NeroZero woningen toonden aan dat het op deze manier mogelijk is om comfortabel (geluidloos, geen tocht) 300 m³/h lucht door een motorloze afzuigkap af te zuigen.
- Bestaande recirculatiekappen verwijderen vooral geuren, maar geen fijnstof. In dit project zijn filters onderzocht die initieel meer dan 99% van de fijnstof afvangen. Naar verwachting is de hoge prestatie te danken aan elektrostatische eigenschappen van de filters. Bij latere filtertesten was de efficiëntie voor fijnstofverwijdering tussen 40 en 85%. Mogelijk waren deze filters minder elektrostatisch geladen. Aanbevolen wordt bij de recirculatiekap nader onderzoek te doen naar het effect van filter materiaal eigenschappen is noodzakelijk om een goed product met een constante vangst efficiëntie te verkrijgen. Dit geldt niet alleen voor fijnstof maar ook voor NO₂, indien op gas wordt gekookt
- De in dit project onderzochte motorloze kappen presteren het best indien zij voldoende uitsteken om de kookgassen van de voorste pitten in te kunnen vangen. Hiervoor is in samenwerking met ATAG een aantal visueel aantrekkelijk prototypes gebouwd.
- Een belangrijke drijfveer voor het ontwikkelen van een balanskap was dat bestaande afzuigkappen met afzuiging naar buiten bij het gewenste afzuigdebiet van 300 m³/uur in luchtdichte woningen een sterke onderdruk veroorzaken. Echter, de balanskap kampt met twee tegenstrijdige eisen: enerzijds moet de thermische efficiency van de warmtewterugwinning voldoende hoog zijn om te voorkomen dat de ingeblazen lucht comfortproblemen veroorzaakt (rendement typisch >90%), anderzijds mag het thermisch rendement niet hoger zijn dan ca. 60% om te voorkomen dat condensvorming optreedt en condenswater op de kookplaat druppelt. Verder onderzoek naar alternatieve uitvoeringen is hier gewenst.
- In dit project is een nieuwe bepalingmethode ontwikkeld waarmee de vangstefficiëntie en daarmee de blootstelling aan contaminanten zoals PM_{2,5} onder realistische kookcondities kan worden vastgesteld. Deze concept bepalingmethode is gelimiteerd tot afzuigkappen die aan de wand worden gemonteerd. Voor plafond-, eiland-, en downdraft afzuigkappen dienen aanvullende methoden te worden ontwikkeld. De bepalingmethoden kunnen worden gebruikt bij de ontwikkeling van kwaliteitslabels voor afzuigkappen.

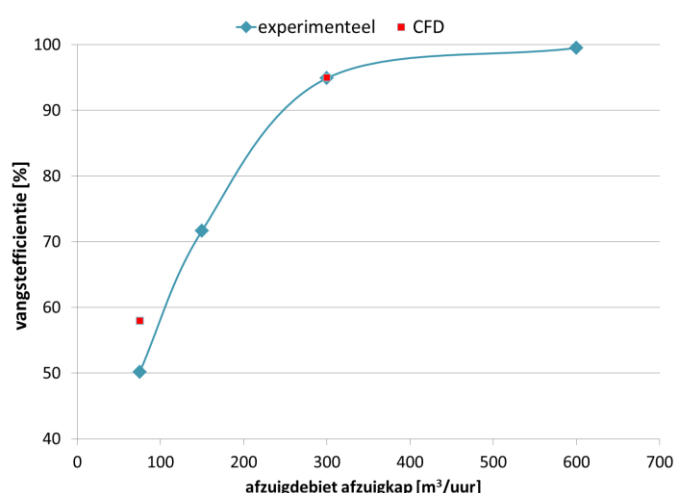
Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Inleiding	6
1.1	Aanleiding en probleemstelling.....	6
1.2	Doelstelling	8
1.3	Werkwijze	8
2	WP1 Functionele eisen en PvE	9
2.1	Modelmatige beschrijving en functionele eisen.....	9
3	Beschrijving behaalde resultaten	16
3.1	Ontwerp ventilatiesysteem NeroZero lab	16
3.2	Realisatie ventilatiesysteem met goede kookafzuiging in NeroZero lab	17
4	WP4 Bepalingsmethode vangstefficiëntie	22
4.1	Bestaande methodes.....	22
4.2	Beschrijving bepalingmethode koken op gas	24
4.3	Beschrijving bepalingmethode inductief koken.....	25
4.4	Vergelijkende metingen testmethoden	26
4.5	Draft bepalingmethode vangstefficiëntie wandafzuigkappen	29
5	WP 6 Inbedding in de regelgeving	33
5.1	Prestatie eisen gericht op verminderen blootstelling en minimaliseren energiegebruik	33
5.2	Afstemming met CEN TC 156	35
6	Conclusie en aanbevelingen	36
7	Overzicht openbare publicaties	38
8	Ondertekening	40

Innovatie aan afzuigkappen wordt belemmerd door ontbreken van bepalingmethoden

In het TKI toeslag project Karakterisering en Energie Efficiënte reductie van Kookemissies (KEEK) is vastgesteld dat bij het huidige bouwbesluit debiet van 75 m³/uur een (motorloze) afzuigkap onder laboratorium condities slechts 50% van de kookemissies vangt, zie Figuur 2. Op basis van deze eerste meetresultaten is als eerste inschatting op www.lente-akkoord.nl gecommuniceerd dat de afzuigkap in de keuken een capaciteit moet hebben van minimaal 300 m³/uur. Naast de kook methode (gas, inductie of keramisch), het type gerecht, de gebruikte olie en pannen en het kookgedrag is de PM_{2.5} emissie natuurlijk ook sterk afhankelijk van de efficiëntie van de afzuigkap. In 2014 is door TNO een vooronderzoek³ uitgevoerd waaruit blijkt dat door gebruik te maken van een dampbuffer de vangst efficiëntie sterk verbetert. Momenteel ontbreekt het aan objectieve bepalingmethoden om dit vast te stellen en aan de markt te communiceren. De bestaande methode (CEI IEC 61591, 2005-11) op basis van geurextractie bij gebruik van één pan is niet representatief voor de praktijk waarin meestal op meerdere pitten tegelijk wordt gekookt en heeft daarnaast onvoldoende onderscheidend vermogen. Hierdoor wordt innovatie aan afzuigkappen met verbeterd vangstrendement belemmerd.



Figuur 2 in het TNO Indoor Air Quality lab experimenteel bepaalde vangst efficiëntie vergeleken met CFD resultaten (bron: TKI KEEK).

Energiezuinige woningen vereisen nieuwe kookafzuiging en woonhuisventilatie concepten

In energiezuinige luchtdichte woningen met balansventilatie functioneren de bestaande afzuigkappen met directe afvoer niet meer goed. Bij een typische luchtafvoer van 300 m³/uur kunnen in zeer luchtdichte woningen met een $q_{v,10} < 0,15$ dm³/(s m²) onderdrukken tot theoretisch 100 Pa ontstaan. Hierdoor gaan bijvoorbeeld deuren moeilijk open en dicht. Als oplossing wordt gepropageerd om een klepraampje open te zetten, maar deze zijn veelal in moderne woningen niet aanwezig. Daarnaast wordt regelmatig aan kopers gecommuniceerd dat indien ze zelf een afzuigkap met afvoer naar buiten door de gevel boren, de garantie op de

³ Energy efficient measures to reduce PM_{2.5} emissions due to cooking, P. Jacobs et al., Indoor Air conferentie 2016, Gent

gevel vervalt. Bouwers van Nul Op de Meter (NOM) woningen geven aan dat in verband met de garantie beperking het voor een volgende stap in de conceptontwikkeling van belang is om te onderzoeken hoe op afzuigkappen kan worden geanticipeerd⁴.

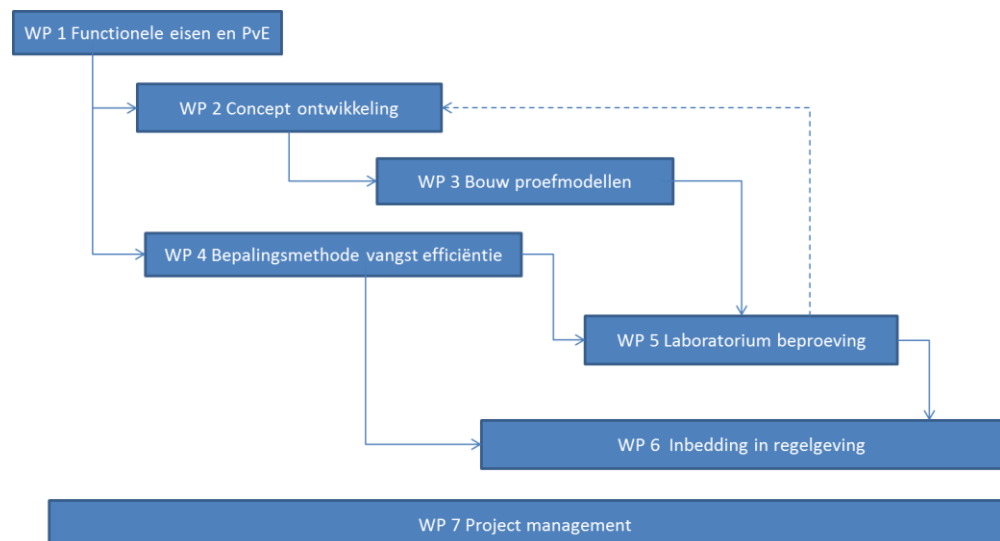
In appartementen is een afzuigkap met een directe afvoer naar buiten vaak niet mogelijk. Veelal wordt geadviseerd om een recirculatie afzuigkap te nemen⁵. Echter laboratorium onderzoek in het TKI toeslag project KEEK aan een recirculatiekap met koolstof filter gaf aan dat nauwelijks fijnstof en slechts gedeeltelijk NOx (dat bij koken op gas vrijkomt) afgevangen werd.

1.2 Doelstelling

Het doel van het project is het wegnemen van “inefficiënte kookafzuiging” als barrière voor het realiseren van gezonde en energie efficiënte woningen. Binnen het project wordt inzicht verkregen in de randvoorwaarden voor effectieve oplossingen, wordt een objectieve bepalingsmethode ontwikkeld en worden verschillende concepten ontwikkeld welke toegepast kunnen worden in samenhang met gangbare energiezuinige ventilatieoplossingen.

1.3 Werkwijze

De werkwijze en behaalde resultaten worden in de volgende hoofdstukken stapsgewijs per werkpakket beschreven. Het overzicht en de samenhang van de werkpakketten wordt in *Figuur 3* getoond. De resultaten van de werkpakketten worden in de volgende hoofdstukken beschreven.



Figuur 3 overzicht en samenhang van de werkpakketten.

⁴ <http://www.lente-akkoord.nl/wp-content/uploads/2015/06/Nul-op-de-Meter-Brochure.pdf>

⁵ <http://www.weboma.nl/UploadBestanden/FAQ-Veelgestelde-vragen.pdf>

2 WP1 Functionele eisen en PvE

In het eerste deel van dit werkpakket is op basis van door TNO uitgevoerde experimenten en literatuuronderzoek een eenvoudige modelmatige beschrijving gegeven waarin de relatie tussen kookemissies, de afzuig efficiëntie van de kookafzuiging en de woonhuisventilatie op de restblootstelling inzichtelijk wordt gemaakt. Op basis hiervan wordt een minimale afzuigcapaciteit afgeleid.

2.1 Modelmatige beschrijving en functionele eisen

Uitgangspunten PM_{2,5} blootstelling

Er is in Nederland nog maar beperkt onderzoek uitgevoerd naar de blootstelling aan PM_{2,5} fijnstof in het binnenmilieu. In 2009 is er door RIVM⁶ in woningen gravimetrisch PM₁₀ (fijnstof met een deeltjesgrootte tot en met 10 µm) gemeten. De gemiddelde concentratie in 9 woningen bedroeg in de woonkamer 14 µg/m³, gedurende de metingen was de buitenconcentratie 28 µg/m³. De binnenconcentratie fijnstof bleek sterk afhankelijk van de buitenconcentratie fijnstof omdat een groot deel van het PM_{2,5} fijnstof van buiten afkomstig is. De zogenaamde binnen-buiten ratio is sterk afhankelijk van de luchtdichtheid van de woning, het ventilatiegedrag, open ramen, eventueel toegepaste luchtfilters (bij balansventilatie) en de mate van depositie van de deeltjes. Hoek⁷ heeft de toename van de binnenconcentratie PM_{2,5} als functie van de buitenconcentratie (de infiltratie coëfficiënt) in 50 Amsterdamse woningen in het stookseizoen onderzocht. Het merendeel van de woningen was vooroorlogs en werd op natuurlijke wijze geventileerd. Hij vond een infiltratie coëfficiënt (de verhouding tussen binnen- en buitenconcentratie bij afwezigheid van binnenbronnen) van gemiddeld 0,39. Onderzoek van MacNeil⁸ in 50 Canadese woningen in de kustplaats Halifax met een gematigd klimaat liet zien dat de infiltratie coëfficiënt in de zomer (0,8) door open ramen veel hoger kan zijn dan in de winter (0,53). Op basis van bovenstaande onderzoeken lijkt een aanname van een jaargemiddelde infiltratie coëfficiënt van 0,5 een redelijke waarde.

De jaargemiddelde Nederlandse PM_{2,5} buitenluchtwaarde hangt af van de locatie en bedraagt gemiddeld circa 14 µg/m³. Op basis hiervan wordt de gemiddelde PM_{2,5} binnen concentratie exclusief koken op 7 µg/m³ geschat.

Voor de eenvoud wordt aangenomen dat koken de enige binnenbron is van PM_{2,5}. Verder wordt aangenomen dat bij een open keuken het fijnstof zich homogeen verspreidt over keuken en woonkamer en dat het fijnstof zich niet verder door de woning verspreidt. Hierdoor dient te worden gecorrigeerd voor de tijdsduur van het verblijf in de slaapkamer en andere ruimten waarbij men niet wordt blootgesteld aan het door koken geëmitteerde fijnstof. Voor het verblijf in de woning worden de uren in Tabel 1 aangenomen.

⁶ Verbindingen in lucht en huisstof van woningen, RIVM rapport 609021087/2009.

⁷ Indoor- outdoor relationships of particle number and mass in four European cities, Hoek et al., Atmospheric environment 2008.

⁸ Quantifying the contribution of ambient and indoor generated fine particles to indoor air in residential environments, MacNeill et al., Indoor Air 2014.

Tabel 1 verblijf gedurende een typische week in en buiten de woning.

	Slapen [uur]	Buiten de woning [uur]	Woonkamer [uur]
Maandag	9	10	5
Dinsdag	9	10	5
Woensdag	9	10	5
Donderdag	9	10	5
Vrijdag	9	8	7
Zaterdag	9	5	10
Zondag	9	5	10
<i>Weektotaal</i>	63	60	47

Het totale verblijf in de woning bedraagt dan 110 uur per week. Bij aannahme van start van de maaltijd bereiding om 18.00 uur en verblijf in de woonkamer tot 23.00 uur bedraagt de blootstelling aan fijnstof ten gevolge van de warme maaltijd bereiding 5 uur. De blootstelling tijdens deze periode kan worden 'uitgesmeerd' over de totale verblijfsduur in de woning van 110 uur per week oftewel 15,7 uur per dag.

Bronsterkten

In het kader van een onderzoeksproject is door TNO samen met de Universiteit van Nottingham de fijnstof bronsterkte van 4 voor Nederland representatieve maaltijden in het MEC laboratorium gemeten. De samenstelling van de maaltijden was gebaseerd op een onderzoek uit 2015 door Maggi onder 3344 Nederlanders⁹.

Tijdens het koken werd de ruimte met 21 dm³/s (75 m³/uur) geventileerd, conform de bouwbesluit capaciteit eis voor ruimten met een kookopstelling. Vervolgens is ook de emissie vastgesteld bij toepassing van een afzuigkap met 83 dm³/s (300 m³/uur) afzuigdebiet. Op basis van het verschil in emissie is de vangst efficiëntie bepaald, zie Tabel 2.

Tabel 2 PM_{2,5} bronsterkte en vangst efficiëntie afzuigkap voor verschillende maaltijden.

Nr.	Maaltijd	PM _{2,5} emissie [mg]	Vangst efficiëntie [%]
1	Kip, sperziebonen met gekookte aardappels	21,7	93,1
2	Kip, sperziebonen met gebakken aardappels	19,1	95,4
3	Pasta Bolognaise (op achterste pitten)	46,3	99,6
4	Kip wokgroenten met noodles (achterste pit)	52,2	97,1
	<i>Gemiddeld per maaltijd</i>	34,8	96,3
	<i>Gemiddeld per dag (bij 5 dagen per week koken)</i>	24,9	-

Het gemiddelde over de vier maaltijden levert een daggemiddelde bronsterkte van 25 mg PM_{2,5}, wat qua grootteorde overeenkomt met de gemiddelde waarde over 836 events door Chan, zie Tabel 3. Uit de tabel blijkt ook dat er een grote spreiding is in bronsterkte bij bereiding van hetzelfde gerecht.

⁹ <https://www.motivaction.nl/kennisplatform/in-de-media/maggi-al-120-jaar-in-nederlandse-keuken>

Tabel 3 PM_{2,5} bronsterkte voor verschillende maaltijden uit diverse onderzoeken.

maaltijd	PM _{2,5} [mg]	Bron
Kipfilet roerbakken in olijfolie met groenten	5,7	Dacunto ¹⁰
Hamburger 2 x 250 g	40,6	Dacunto
Gemiddelde emissie bij 836 'events' gedurende 2 weken meten in 18 woningen	30	Chan ¹¹
Kipfilet roerbakken met groenten, op gas	70,5	Fortmann ¹²
Kipfilet roerbakken met groenten, elektrisch	61,3	Fortmann
Kipfilet roerbakken met groenten, op gas in twee batches	129,4	Fortmann
Kipfilet roerbakken, worst case – olie heter en langer bakken	463,8	Fortmann

Verdunning

Voor de afname van de PM_{2,5} concentratie is naast de ventilatie ook depositie van belang. Dit is het neerslaan van fijnstof op oppervlakken. Beide effecten samen noemen we verdunning. In de laboratorium metingen bleek dat de depositie overeenkwam met een verdunning door een luchtdebiet van 16 dm³/s wat van dezelfde grootteorde was als de ventilatie die conform bouwbesluit op 21 dm³/s was ingesteld. Dergelijke effecten zijn ook in woningen waargenomen. De afname snelheid van een piek in een nieuwbouwwoning die overeen kwam met 28 dm³/s verdunning kon voor 42% worden verklaard met ventilatie en voor 58% met infiltratie en depositie. In de zomer kan de infiltratie term fors toenemen door openstaande ramen en deuren. Als eerste inschatting wordt voor de simulaties een afname snelheid door verdunning en depositie, ingeschat die overeen komt met 28 dm³/s verdunningsventilatie.

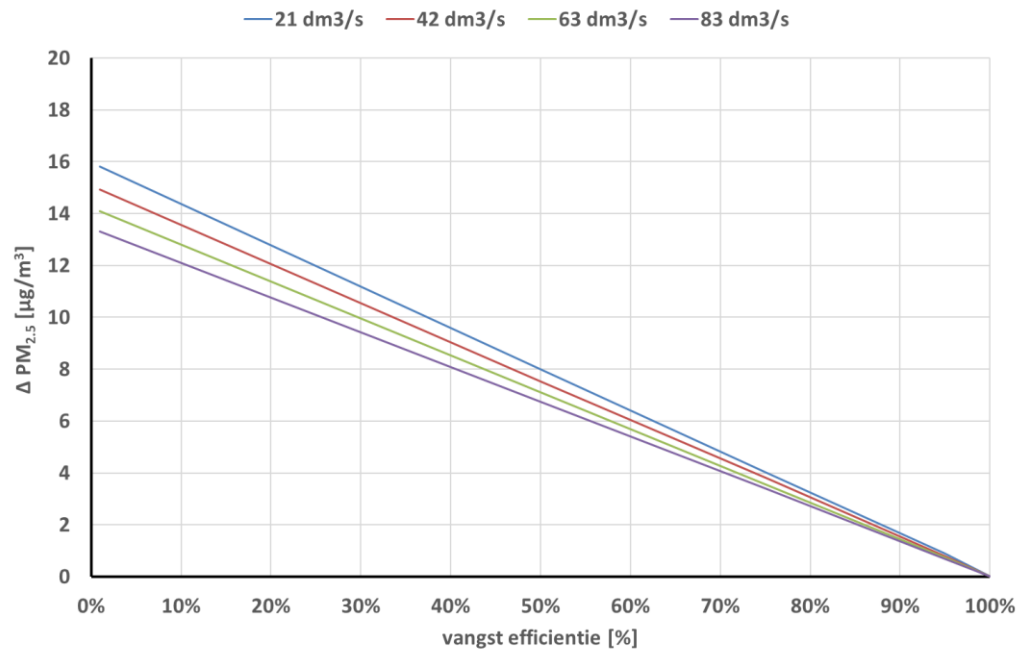
Effect vangstefficiëntie op blootstelling

In Figuur 4 is voor de daggemiddelde PM_{2,5} bronsterkte uit Tabel 2 het effect op de gemiddelde blootstelling tijdens verblijf in de woning als functie van de vangst efficiëntie van de afzuigkap uitgezet. Deze figuur is opgezet op basis van simulaties met het multizone ventilatiemodel COMIS. Tijdens 10 minuten koken is een PM_{2,5} emissie gesimuleerd van 41,6 µg/s. Dit levert conform Tabel 2 een PM_{2,5} emissie van in totaal 25 mg op. Na het koken is de afname door ventilatie, infiltratie en depositie met een ventilatiestroom van 28 dm³/s gesimuleerd. Er is een klein effect zichtbaar van de grootte van de afzuigstroom. Bij een hogere afzuigstroom tijdens het koken treedt meer verdunning in de ruimte op.

¹⁰ Dacunto P.J. et al., Real-time particle monitor calibration factors and PM_{2,5} emission factors for multiple indoor sources, *Environmental Science Processes & Impacts*, 15, 2013

¹¹ Chan W.R., et al., Quantifying fine particle emission events from time-resolved measurements: method description and application to 18 California low-income apartments, *Indoor Air*, 28: 89–101, 2018.

¹² Fortmann, Indoor air quality: residential cooking exposures, Final report 2001.

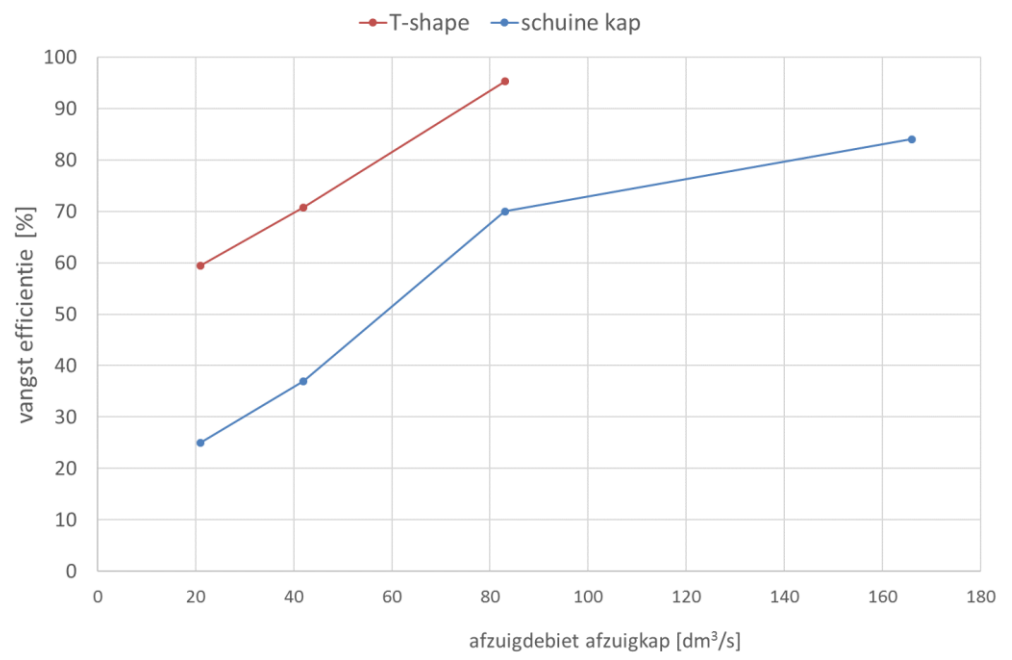


Figuur 4 gemiddelde $PM_{2.5}$ verhoging over de verblijfsduur in de woning bij een $PM_{2.5}$ emissie van 25 mg als functie van vangstefficiëntie en afzuigdebiet tijdens koken. Hier is nog geen relatie gelegd tussen vangstefficiëntie en afzuigdebiet van een afzuigkap.

Vangst efficiëntie

In Figuur 5 wordt de vangst efficiëntie van twee in Figuur 6 afgebeelde afzuigkappen als functie van het afzuigdebiet getoond. Deze metingen zijn in het laboratorium uitgevoerd volgens het door Berkeley ontwikkelde ASTM protocol aangepast aan inductief koken. Bij deze gestandaardiseerde meting worden op de voorste pitten twee koekenpannen tot ruim 200 °C verhit. In de koekenpannen wordt CO_2 vrijgelaten en vervolgens wordt voor verschillende afzuigdebieten bepaald welk percentage CO_2 direct wordt afgevangen. De vangst efficiëntie bij het hoogste afzuigdebiet van de T-shape afzuigkap komt goed overeen met de vangst efficiëntie die is gemeten voor $PM_{2.5}$ fijnstof bij het koken van de vier maaltijden (Tabel 2). Blijkbaar is de met het meetprotocol gemeten vangstefficiëntie representatief voor de vangstefficiëntie bij het koken van echte maaltijden. Het verschil in vangstefficiëntie tussen de twee afzuigkappen kan worden verklaard door geometrische verschillen. De T-shape steekt voldoende ver naar voren uit om de pannen volledig te bedekken. De schuine kap bedekt de pannen op de voorste pitten in het geheel niet. Deze bevinding dat de afzuig efficiëntie fors lager kan zijn als een afzuigkappen onvoldoende over de pannen overhangt werd eerder ook door Singer¹³ gedaan op basis van metingen aan diverse soorten afzuigkappen in 15 woningen. Zijn conclusie was dat bij koken op de voorste pitten een debiet van minimaal 95 dm³/s nodig was en vaak niet voldoende is om een vangst efficiëntie van 75% te halen.

¹³ Performance of installed cooking exhaust devices, Singer et al, Indoor Air 2012.



Figuur 5 vangst efficiëntie als functie van het afzuigdebiet



Figuur 6 links T-shape met 95% bedekking van de voorste branders, rechts schuine afzuigkap met 0% bedekking van voorbranders

PM_{2,5} blootstelling in woningen

Op basis van Figuur 4 en Figuur 5 wordt in Tabel 4 voor een aantal situaties de verhoging van de jaargemiddelde blootstelling aan fijnstof tijdens verblijf in een woning afgeleid. Eerder is afgeleid dat de jaargemiddelde PM_{2,5} fijnstof concentratie in Nederlandse woningen exclusief koken typisch 7 µg/m³ bedraagt. Het huidige Bouwbesluit stelt 21 dm³/s (75 m³/uur) als capaciteit eis voor ventilatie in een ruimte met opstelplaats voor kooktoestel (keuken). Zonder gebruik te maken van een afzuigkap (enkel afzuiging via het afzuigventiel) en met een afzuigstroom volgens het huidige Bouwbesluit zorgt koken voor een verdrievoudiging van de blootstelling. Verhoging van de ruimteventilatie tijdens koken (tot 83 dm³/s (300 m³/uur) zonder afzuigkap) heeft slechts een gering effect. Dit wordt weergegeven door de 2 linker plaatjes in Figuur 7.

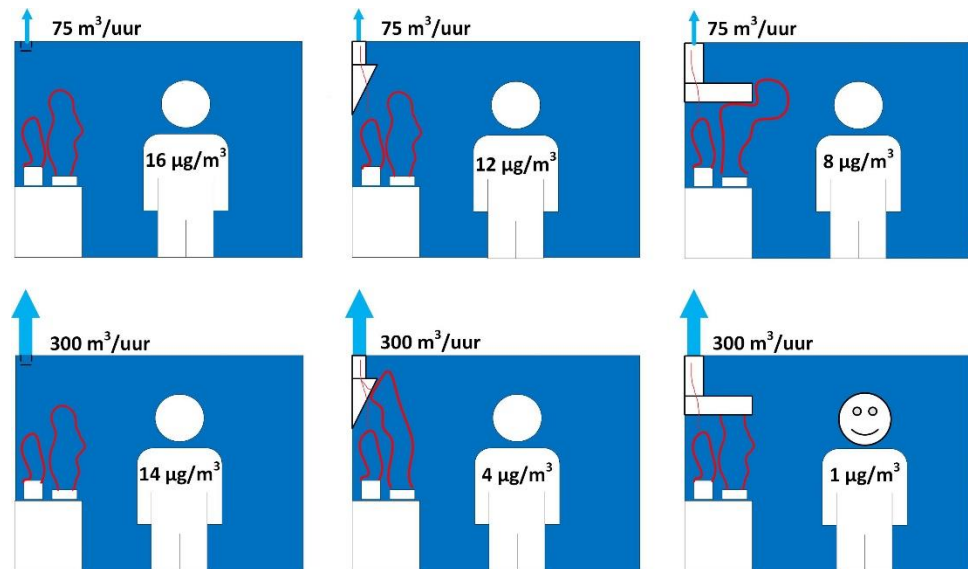
Door gebruik te maken van een afzuigkap die tot over de voorste pitten reikt en is aangesloten op het afvoerventiel in de keuken, kan bij een volumestroom van 21 dm³/s de additionele blootstelling worden gehalveerd. Bij een afzuigstroom van minimaal 83 dm³/s kunnen met een dergelijke afzuigkap vrijwel alle kookdampen direct afgevoerd en bedraagt de additionele blootstelling minder dan 1 µg/m³. Dit wordt weergegeven door de 2 rechter plaatjes in Figuur 7.

Gebruik makend van een schuine afzuigkap bedraagt de additionele blootstelling 4 µg/m³. Afhankelijk van de effectiviteit van afzuigkap (70% of 95% bij een afzuigstroom van 83 dm³/s) bedraagt de totale jaargemiddelde blootstelling aan fijnstof tussen de 7 +1 = 8 en 7+4 = 11 µg/m³. Dit wordt weergegeven door de 2 middelste plaatjes in Figuur 7.

In principe kan dus bij een gemiddeld kookgedrag aan de WHO PM_{2,5} advieswaarde van 10 µg/m³ jaargemiddeld worden voldaan door een voldoende goede afzuigkap te selecteren in combinatie met voldoende afzuigstroom.

Tabel 4 verhoging van de blootstelling aan PM_{2,5} fijnstof tijdens het verblijf in de woning.

Situatie kook- en ruimteafzuiging	Vangst efficiëntie [%]	ΔPM _{2,5} [µg/m ³]
Geen afzuigkap, afzuigventiel met 75 m ³ /uur afzuiging	0	16
Slechte motorloze afzuigkap op afzuigventiel met 75 m ³ /uur	25	12
Goede motorloze afzuigkap op afzuigventiel met 75 m ³ /uur	50	8
Geen afzuigkap, afzuigventiel met 300 m ³ /uur afzuiging	0	14
Slechte Afzuigkap met 300 m ³ /uur afzuiging tijdens koken	70	4
Goede Afzuigkap met 300 m ³ /uur afzuiging tijdens koken	95	1



Figuur 7 jaargemiddelde PM_{2,5} concentratie verhoging bij verblijf in woning door koken.

Conclusie modelmatige beschrijving en functionele eisen

Koken veroorzaakt emissie van fijnstof en kan in goede luchtdichte woningen met open keuken zonder adequate kookafzuiging de blootstelling aan fijnstof in woningen significant verhogen. De jaargemiddelde PM_{2,5} fijnstof blootstelling in Nederlandse woningen exclusief koken wordt gemiddeld op 7 µg/m³ geschat.

Figuur 7 toont voor drie verschillende type kookafzuiging en bij twee afzuigdebieten de verhoging van de blootstelling aan PM_{2,5} fijnstof per jaar tijdens het verblijf in de woning. Hierbij is uitgegaan van een gemiddelde fijnstof bronsterkte door koken en een typisch ventilatiegedrag van de woning.

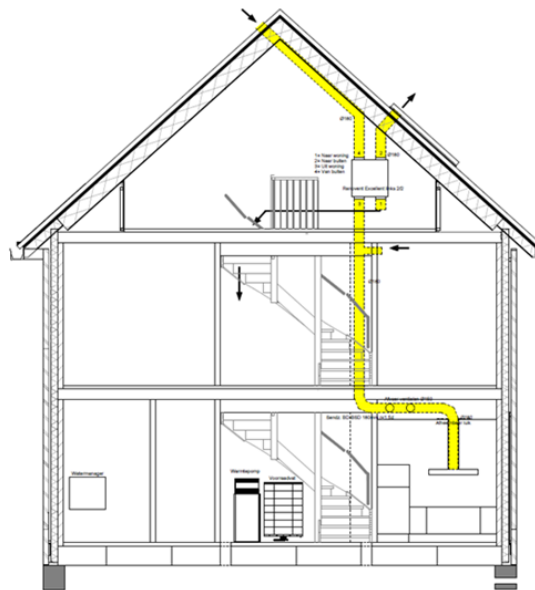
Het bouwbesluit stelt geen specifieke eisen aan kookafzuiging. Het Bouwbesluit stelt 21 dm³/s (75 m³/uur) als capaciteitseis voor ventilatie in een ruimte met opstelplaats voor kooktoestel (keuken). Door een afzuigkap die tot over de voorste pitten reikt op het afzuigventiel aan te sluiten kan met deze capaciteit de additionele blootstelling worden gehalveerd. Bij een afzuigstroom van minimaal 83 dm³/s (300 m³/uur) worden met een dergelijke afzuigkap vrijwel alle kookdampen direct afgevoerd worden en bedraagt de additionele blootstelling minder dan 1 µg/m³. Om dergelijke debieten stil en zonder al te veel ventilatie-energie te leveren dient gebruik te worden gemaakt van voldoende ruime afvoerkanalen. Dit dient in woningen, denk met name aan appartementen en rijtjeswoningen, reeds in het ontwerp van de bouw of renovatie te worden meegenomen.

3 Beschrijving behaalde resultaten

Navolgende paragrafen laten het ontwerp en de behaalde resultaten zien, de knelpunten en het perspectief van toepassing. De in het project ontwikkelde concepten zijn deels in de NeroZero woning toegepast. In deze woning is het ventilatiesysteem zodanig ontworpen dat in de keuken voldoende afzuigcapaciteit aanwezig is om een speciaal in de project ontwikkelde motorloze afzuigkap aan te sluiten.

3.1 Ontwerp ventilatiesysteem NeroZero lab

Om daadwerkelijk met een conventionele ventilatieunit 300 m³/uur afzuigcapaciteit op het afzuigventiel in de keuken te verkrijgen is door Koppen Vastgoed en TNO het kanaalsysteem zorgvuldig ontworpen. Om overmatige drukval te vermijden dient het aantal bochten zo minimaal mogelijk te zijn en de lichtsnelheid in het kanaal zo laag mogelijk te worden gehouden, dus met een zo groot mogelijke kanaaldiameter. Met het kanalenverloop zoals geschetst in Figuur 8 wordt uitgaande van een rond 180 mm kanaal tussen afzuigkap en dakuitblaas naar verwachting een drukverlies over het kanaal bereikt van circa 60 Pa bij 300 m³/uur.



Figuur 8 conceptueel ontwerp kanaalsysteem NeroZero woning.

Belangrijke voordelen van het in Figuur 8 geschetste concept zijn dat:

- een dergelijk ruim ontworpen ventilatie systeem bij de bouwbesluit debieten vrijwel geluidloos ventileert, waardoor wordt voorkomen dat bewoners het ventilatiesysteem uitzetten vanwege de geluidshinder;
- in de kookstand er in de keuken geen hinderlijk geluid is van een afzuigkap, de motor van de afzuigkap staat immers op zolder;
- het een gebalanceerd systeem betreft, de lucht die in de keuken wordt afgevoerd wordt via de balansunit voorverwarmd de woning ingeblazen. Hierdoor wordt onderdruk en tocht voorkomen.

- Vetaanslag in de kanalen en in de warmtewisselaar¹⁴ kan worden voorkomen door een voldoende kwaliteit vetfilter te kiezen.

Ontwerp keuken en inrichting

Bribus heeft een ontwerp gemaakt voor de keuken, zie *Figuur 9*. In het ontwerp is de afvoerleiding van de afzuigkap naar de ventilatieunit weggewerkt in een koof.



Figuur 9 conceptueel ontwerp keuken NeroZero woning met afzuigkanaal in koof.

3.2 Realisatie ventilatiesysteem met goede kookafzuiging in NeroZero lab

Het NeroZero lab is door Koppen gerealiseerd in Heerhugowaard, zie *Figuur 10* voor een impressie tijdens de bouw. Op 1 december 2016 is de eerste paal geslagen en de woning is op 8 maart 2018 officieel door de burgemeester van Heerhugowaard geopend door het bakken van een pannenkoek met optimale fijnstofafzuiging, zie *Figuur 11*. Bribus heeft samen met Koppen Vastgoed de keuken ontworpen. Atag heeft een motorloze afzuigkap ontworpen met tiptoetsbediening op de afzuigkap om het ventilatiesysteem in de woning aan te sturen en de 'kookstand' te activeren. Verder is de afzuigkap voorzien van een rond 180 mm aansluiting zodat geen vernauwing optreedt bij de afvoer naar het woningventilatiesysteem. Voor dit afvoerkanaal, zie *Figuur 12* en *Figuur 13*, is gebruik gemaakt van een speciaal geluiddempend kanaal geleverd door Bergschenhoek. Naast onderzoek voor TKI VentKook wordt in de woning ook onderzoek verricht voor het project TKI Kameleo.

¹⁴ Microbiologische verontreiniging bij balansventilatie beperkt, VV+ April 2011



Figuur 10 voor- en achterzijde van NeroZero lab (de tussenwoning).



Figuur 11 opening van NeroZero woning door de burgemeester van Heerhugowaard, 8 maart 2018.

Figuur 12 en Figuur 13 laten het verloop van het afzuigkanaal zien.



Figuur 12 afzuigkap in keuken en 180 mm kanaal.



Figuur 13 afzuigkanaal in lepe hoek trappenhuis.

Bij de oplevering van de NeroZero woning was op de open zolder een Brink balansventilatieunit aanwezig met een maximum debiet van 400 m³/uur. Op 23 februari 2018 zijn door Koppen Vastgoed metingen verricht om het afzuigdebiet van de motorloze afzuigkap vast te stellen. Hierbij is met een Acin Flowfinder een debiet van 303 m³/uur gemeten, zie Figuur 14. Bij de meting waren de ventielen in de badkamer en in het toilet afgesloten. Hiermee is het principe aangetoond dat het mogelijk is om middels een goed ontwerp van het ventilatiesysteem aan de in WP2 afgeleide eis voor afzuiging te voldoen.



Figuur 14 meting afzuigdebiet motorloze afzuigkap op 23 februari 2018.

Na deze meting is de ventilatieunit in de NeroZero woning vervangen door een nieuw experimenteel type van Brink die veel stiller is waardoor het volgens Brink

niet meer noodzakelijk is om de unit in een kast op zolder te plaatsen. Het maximum debiet van deze unit is circa 350 m³/uur. Op 29 augustus 2018 zijn door TNO en Koppen Vastgoed gezamenlijk metingen uitgevoerd om het effect van vraagsturing op de afvoer vast te stellen. Hierbij zijn het debiet (Tabel 5) en de drukval (Tabel 6) over het keuken afvoerkanaal gekarakteriseerd met twee soorten afzuigventielen.

Tabel 5 afzuigdebieten in NeroZero lab gemeten met Acin Flowfinder in stand 3 van het ventilatiesysteem.

	Standaard ventielen [m³/uur]	zelfsluitende ventielen [m³/uur]
keuken	130	235
badkamer	78	11
toilet	42	9
<i>Totaal</i>	<i>250</i>	<i>255</i>

Tabel 6 Kanaalweerstand bij 250 m³/uur (stand 3).

	Drukval [Pa]
Afzuigkap – WTW unit	69,5
WTW unit – buiten	10,5
<i>Totaal</i>	<i>80</i>

Toepassing van het zelfsluitende ventiel van Easyflow vermindert in de hoogstand de afvoer in de badkamer en keuken en verhoogt de afvoercapaciteit van de afzuigkap.

Groot voordeel van de op het ventilatiesysteem aangesloten motorloze afzuigkap is het geluidniveau in de keuken. ATAG heeft een afzuigkap aanpast zodat het ventilatiesysteem via een tiptoetsbediening op de afzuigkap kan worden aangepast, zie Figuur 15. Bij het verhogen van de stand van het ventilatiesysteem van stand 2 naar stand 3 op de tiptoets afzuigkap verandert het geluidniveau in de keuken niet merkbaar, zie Tabel 7. Ten opzichte van conventionele motorloze afzuigkappen die een geluidniveau van typisch 60 dB veroorzaken is dit een verademing.



Figuur 15 tiptoetsbediening ventilatiesysteem via ATAG motorloze afzuigkap.

Tabel 7 Indicatief geluidniveau op 1 meter afstand.

	Stand 2 Bouwbesluit eis indicatief geluidniveau [dB]	Stand 3 Kookstand indicatief geluidniveau [dB]
Midden van de zolder	33,3	43,3
Slaapkamer achterzijde	21,2	29,5
Woonkamer keukentafel	22,3	22,8

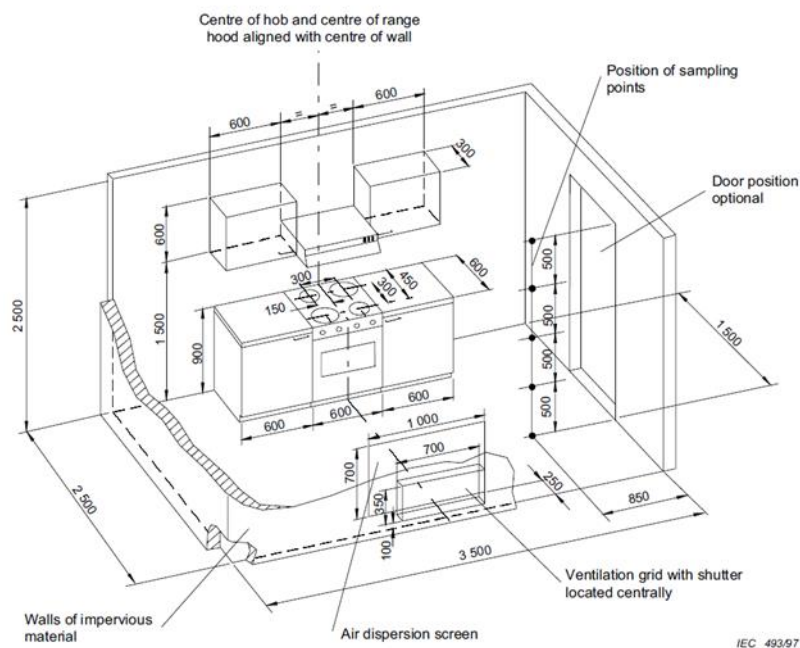
Opgemerkt dient te worden dat deze (nette) waarden in Tabel 7 een momentopname betreffen bij een bepaald type toegepaste leiding, zonder omkasting van de ventilatie-unit. Op zoek naar het optimum zal in de komende periode in het NeroZero-lab meer type leidingen worden toegepast en gemeten.

4 WP4 Bepalingsmethode vangstefficiëntie

4.1 Bestaande methodes

Er bestaat momenteel een aantal bepalingmethoden voor de vangst efficiëntie van afzuigkappen, allemaal met hun beperkingen. Deze worden kort besproken. Vervolgens wordt een in de praktijk toepasbare innovatieve bepalingmethode voorgesteld.

CEI IEC 61591, 2005-11 Household range hoods – methods for measuring performance: op basis van geurextractie. Als tracerstof voor geur wordt Methyl Ethyl Keton (MEK) gebruikt. De procedure is dat MEK in een pan wordt gedruppeld die op een temperatuur van 170 °C wordt gehouden. Deze pan is links vóór op de kookplaat geplaatst in een testkamer met standaardafmetingen, zie Figuur 16. Deze methode heeft onvoldoende onderscheidend vermogen en is daarnaast ook niet representatief voor de praktijk waarin meestal op meerdere pitten tegelijk wordt gekookt. Er wordt momenteel een update uitgevoerd van deze methode. Deze is nog niet gepubliceerd. Informele contacten met een lid van de werkgroep gaven aan dat wat betreft de bepalingmethode er geen wezenlijke veranderingen in de nieuwe norm zullen komen.



Figuur 16 CEI IEC 61591 testkamer, links en rechts van de afzuigkap zijn bovenkastjes.

EN 13141-3: 2017 Ventilation for buildings – Performance testing of components/products for residential ventilation - Part 3: Range hoods for residential use without fan: deze norm gebruikt een vergelijkbare methode als de IEC 61591. Belangrijkste afwijking is dat eventuele luchtstromingen in de keuken

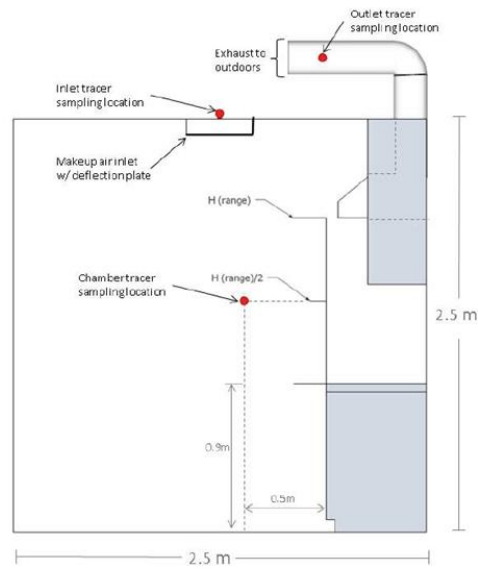
worden gesimuleerd door een 1 m hoog en 50 brede plaat door de keuken heen en neer te bewegen. Dit simuleert het effect van een lopende persoon.

ASTM E3087- 2017 Standard test method for measuring capture efficiency of domestic range hoods: deze door Berkeley ontwikkelde methode voor beproeving van afzuigkappen is gebaseerd op injectie van CO₂ in een speciaal ontworpen emitter, zie Figuur 17. De emitter bestaat uit twee platen. In de bovenste plaat wordt CO₂ gedoseerd. Het merendeel verdwijnt via gaten in de bovenzijde van de plaat en representeert verontreinigingen door het koken. Een deel verdwijnt via gaten in de onderzijde, hiermee worden verontreinigingen (NO₂ en ultrafijnstof) ten gevolge van de gasverbranding gerepresenteerd.



Figuur 17 .ASTM emitters op twee 600 W elektrische verwarmingsplaatjes in MEC lab.

Het ontwerp van de emitters is erop gericht om de temperaturen en daarmee de luchtstromingen te simuleren die bij zowel elektrisch koken op basis van weerstandsverwarming als bij koken op gas voorkomen. Daartoe wordt de onderste emitter plaat tot circa 400 °C verhit. Deze plaat straalt de geperforeerde plaat erboven aan. Het vermogen is zodanig afgesteld dat de temperatuur van de bovenste schijf 200 °C bedraagt. Hiervoor is per plaat ongeveer 1000 W benodigd. In Berkeley werd hiervoor een elektrisch fornuis gebruikt. In het MEC lab hebben we dit proberen te simuleren met elektrische verwarmingsplaatjes. Hiermee was het niet mogelijk om 1000 W af te geven, bij dit vermogen branden de verwarmingselementen van de kookplaatjes door. Het maximaal af te geven vermogen was 600 W en hiermee werd aan de bovenzijde van de geperforeerde plaat een temperatuur gehaald van 170 °C. Met de groep in Berkeley is hierover overleg geweest. Zij hadden in sommige configuraties ook technische problemen met de dubbele eis van 1000 W afgifte per element en een temperatuur aan de bovenzijde van 200 °C. Zij hebben vervolgens besloten om de temperatuureis te verlagen naar 170 °C. Dit is een meer realistische temperatuur die in Westerse landen bij bakken en braden wordt gebruikt. In Figuur 18 wordt de ASTM testkamer getoond. De buitenafmetingen zijn vergelijkbaar met de IEC 61591 kamer.



Figuur 18 dwarsdoorsnede van ASTM testkamer, links en rechts van de afzuigkap zijn bovenkastjes.

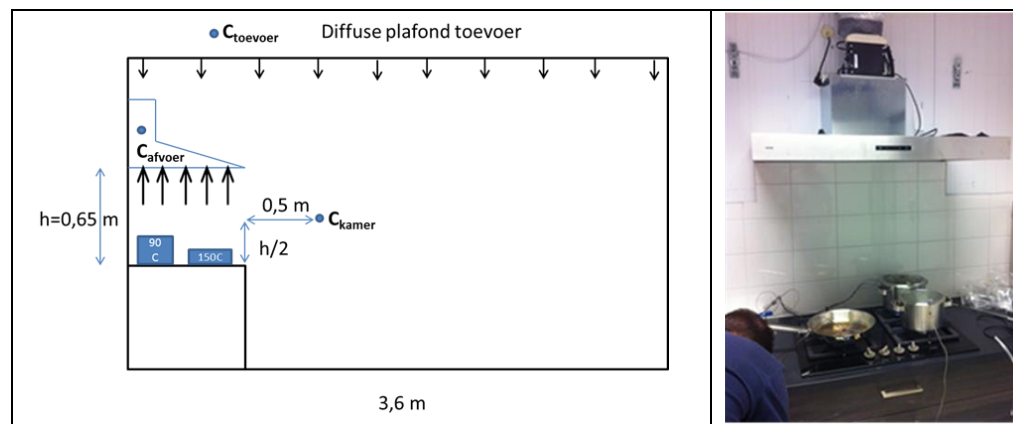
4.2 Beschrijving bepalingmethode koken op gas

In TKI toeslag KEEK zijn metingen verricht aan de vangst efficiëntie van een afzuigkap bij koken op gas. Hierbij is de in Figuur 19 getoonde kamer en opstelling gebruikt. Op drie posities wordt CO₂ gemeten dat bij de gasverbranding vrijkomt. De vangst efficiëntie wordt berekend met:

$$\eta = \left(\frac{C_{afvoer} - C_{kamer}}{C_{afvoer} - C_{toevoer}} \right) * 100\%$$

Met C de concentratie in ppm (parts per million).

Bij een gas vermogen van 1200 W bedraagt de temperatuur van de pan in het midden 229 °C en aan de rand 115 °C. Gemiddeld bedraagt de temperatuur 172 °C.



Figuur 19 dwarsdoorsnede van TNO testkamer, positie pannen op fornuis en meetpunten.

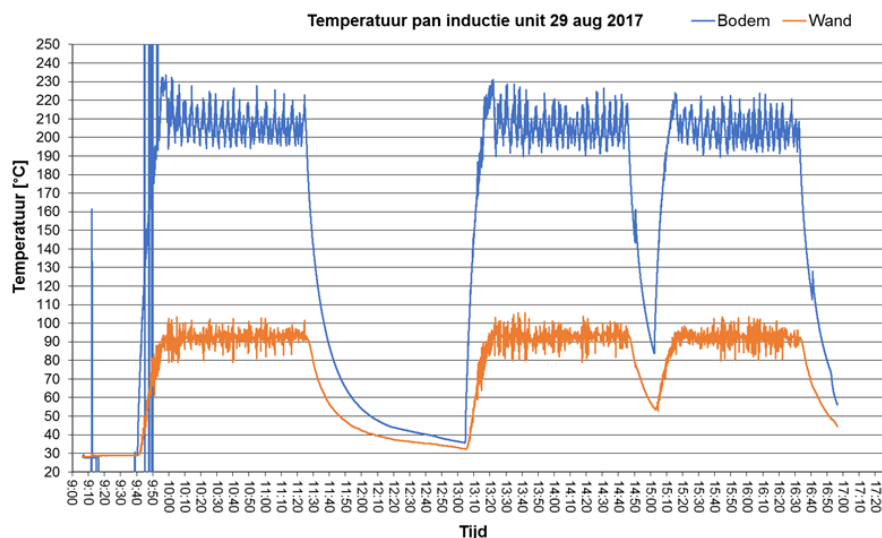
4.3 Beschrijving bepalingmethode inductief koken

Specifiek voor inductief koken is een nieuwe bepalingmethode ontwikkeld. Hierbij is een Pelgrim IDK 464 kookplaat gebruikt, zie Figuur 20.



Figuur 20 positie pannen op fornuis, CO₂ injectie buis en instelling kookplaat.

De linker pan is uitgevoerd met een temperatuursensor in het midden van de pan. De kookplaat is zo ingesteld dat de pannen in overeenstemming met de IEC 61591 en de ASTM methode een temperatuur van gemiddeld 170 °C bereiken. Omdat de energetische efficiëntie van inductief koken veel hoger is dan die van koken op gas is hiervoor slechts een vermogen noodzakelijk van circa 435 W per pit. Figuur 21 geeft de temperatuur van de panbodem en de rand weer bij 3 metingen, bij de inductie standen in Figuur 20.



Figuur 21 temperatuur van panbodem (205 °C) en de rand (93 °C) bij inductief koken.

CO₂ wordt vanuit een 200 l gasfles met een mass flow controller (Bronkhorst) gedoseerd middels een koperen buisje in de pannen. Dit buisje heeft 15 gaatjes aan de onderzijde. Om een gelijkmatige uitblaassnelheid over de gaatjes te verkrijgen is het zo ontworpen dat de uitblaassnelheid uit de gaatjes twee maal de snelheid in de buis bedraagt. De diameter van de gaatjes bedraagt 1,5 mm en de diameter van de buis 8 mm. De hoeveelheid CO₂ tracergas was zo ingesteld dat 1000 – 2000 ppm CO₂ in de afvoer wordt bereikt. CO₂ werd gemeten met een Bruel & Kjaer met automatische sampler. Voordeel van deze meetmethode is dat met 1

sensor op alle drie de locaties wordt gemeten en dat een eventuele absolute afwijking van de sensor geen rol speelt. Nadeel is de relatief lange tijd die benodigd is om de slangen te spoelen. Hierdoor wordt elk meetpunt om de drie minuten bemonsterd.

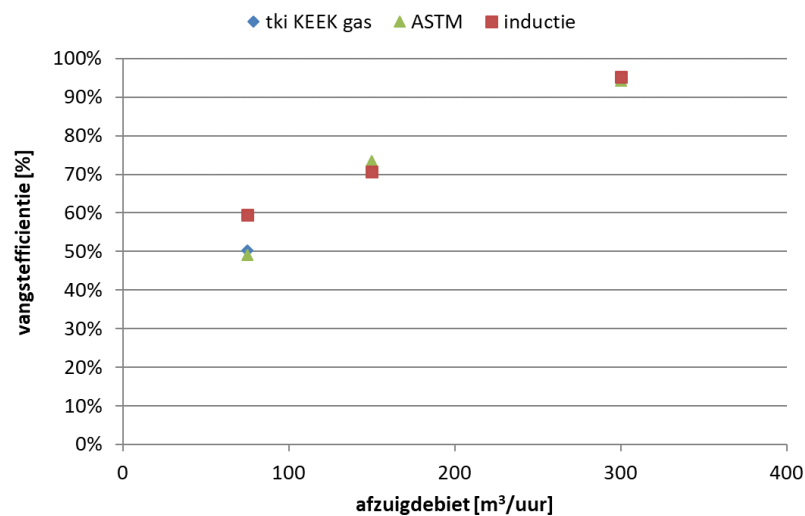
4.4 Vergelijkende metingen testmethoden

Met de hiervoor beschreven methoden zijn met een T shape afzuigkap (ATAG WS9011QAM) vergelijkende metingen uitgevoerd. Hierbij zijn de condities zoveel mogelijk vergelijkbaar gehouden, zie Tabel 8.

Tabel 8 overzicht meetcondities vergelijkende metingen

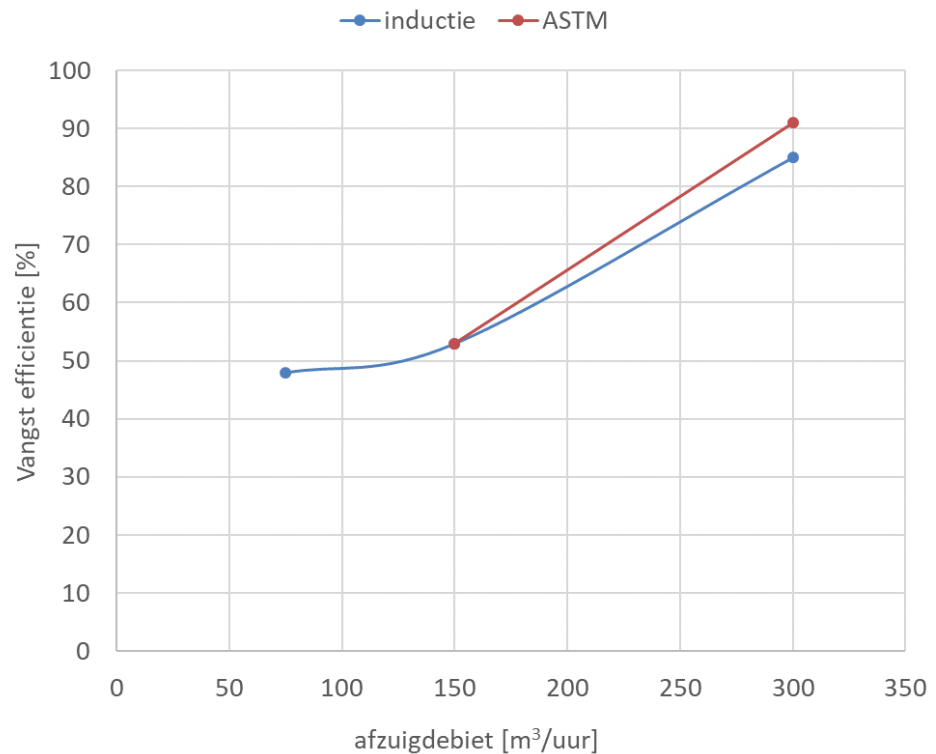
TKI KEEK gas	VentKook 'ASTM'	VentKook Inductie
Gasfornuis, 3 gasbranders	2 elektrische kookplaatjes 180 mm	inductie
Voorbranders 400 mm van achterwand, 335 mm van elkaar af	400 mm van achterwand, 335 mm van elkaar af (identiek aan gasfornuis)	Voorbranders 400 mm van achterwand, 290 mm van elkaar af
totaal 1200 W	totaal 1200 W	links: 392 W, rechts: 504 W
$T_{\text{bodern}} = 229 \text{ }^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{bodern}} = 205 \text{ }^{\circ}\text{C}$
$T_{\text{rand}} = 115 \text{ }^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{rand}} = 93 \text{ }^{\circ}\text{C}$
$T_{\text{gemiddeld}} = 172 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{gemiddeld}} = 170 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{gemiddeld}} = 149 \text{ }^{\circ}\text{C}$

De resultaten staan in Figuur 22. De inductie methode geeft bij lage debieten een hogere vangst efficiëntie, wat mogelijk wordt veroorzaakt door de kleinere pluim vervuilde lucht bij inductie ten opzichte van koken op gas. Vanaf 150 m³/uur is de gemeten vangst efficiëntie vergelijkbaar voor de drie methoden. Een belangrijke observatie is dat bij 300 m³/uur afzuiging de tracergas methodes goed overeenkomen met de eerder gevonden PM_{2,5} reductie percentages bij het koken van twee volledige maaltijden op de voorste branders: 93,1 en 95,4% (zie Tabel 2). Blijkbaar zijn de tracergas metingen goede indicatoren voor de PM_{2,5} reductie.



Figuur 22 T-shape: vergelijking vangst efficiëntie van 3 bepalingsmethode onder de condities in Tabel 8.

Op een vergelijkbare manier als voor de T-shape is de vangst efficiëntie voor de X-kap met ASTM en inductie methode vastgesteld, zie Figuur 23. Bij 300 m³/uur is de vangstefficiëntie van de ASTM methode hoger dan bepaald met inductie. Mogelijk is dit een gevolg van het hogere afgegeven vermogen bij de ASTM methode, wat een stabielere pluimstroming oplevert.



Figuur 23 X-kap 60°: vergelijking vangst efficiëntie met ASTM (14 september 2017) en inductie (26 september 2017).

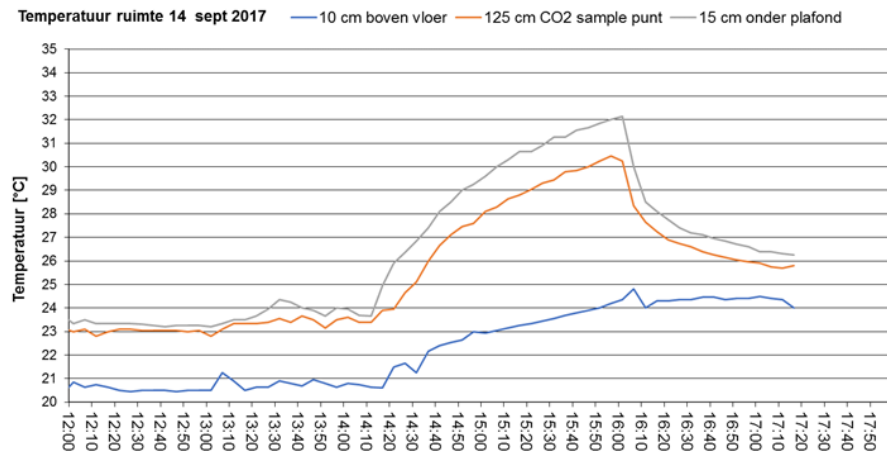
De ASTM methode heeft minder last van verstoringen. Waarschijnlijk is dit een gevolg van het grotere afgegeven vermogen wat leidt tot een stabiere pluim. Dit komt ook tot uitdrukking in lagere standaarddeviaties en een kleiner 95% betrouwbaarheidsinterval, zie Tabel 9.

Tabel 9 vergelijking vangst efficiëntie X-kap 60° met ASTM en inductie methode.

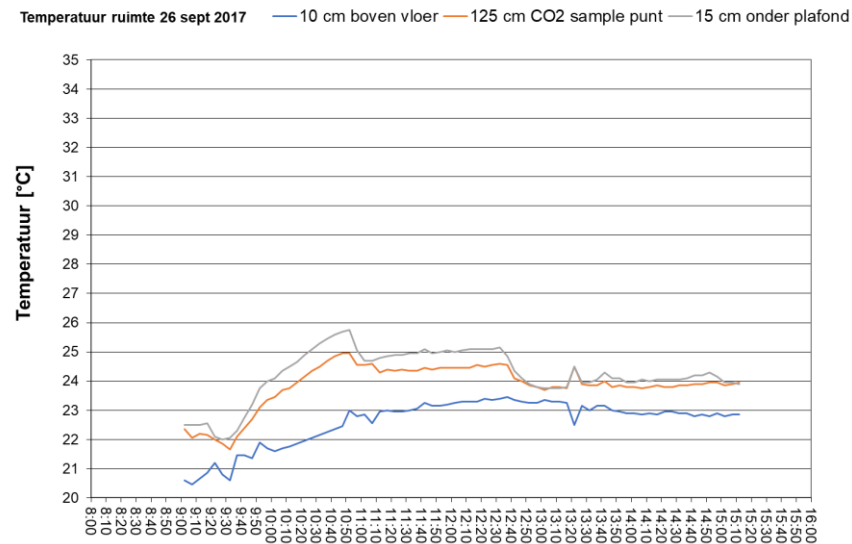
Debiet [m ³ /uur]	ASTM 600 W			Inductie 435 W		
	Vangst efficiëntie [%]	Standaard deviatie	95 BI [%]	Vangst efficiëntie [%]	Standaard Deviatie	95 BI [%]
75	-	-	-	47	8,0	15,7
150	53,0	1,7	3,3	52	6,6	12,9
300	90,8	1,4	2,7	84	7,3	14,3

Een ander verschil tussen de ASTM en de inductie bepalings methode is de mate van opwarming van de proefkamer, zie Figuur 24 en Figuur 25. Door de hoge temperatuur van het kookplaatje en de emitter wordt een aanzienlijk deel van de warmte naar de ruimte gestraald. Hierdoor neemt bij de ASTM methode de

ruimtetemperatuur veel sterker toe dan bij de inductiemethode. Mogelijk zou deze opwarming kleiner zijn indien het kookplaatje in het fornuis is geïntegreerd zoals in de LBL proefopstelling. Echter aangezien in Nederland nauwelijks elektrische weerstandsverwarming zoals in de ASTM wordt toegepast is deze methode minder representatief. Op basis hiervan is besloten om verder te gaan met de inductie methode en om hiervan de nauwkeurigheid te vergroten.



Figuur 24 ASTM meting X-kap 60°, temperatuur in proefkamer voor de kookplaat op drie verschillende hoogten, 14 september 2017: 14.35 uur 150 m³/uur, 16.04 uur 300 m³/uur.



Figuur 25 inductie meting X-kap 60°, temperatuur in proefkamer voor de kookplaat op drie verschillende hoogten, 26 september 2017: 8.55 uur 75 m³/uur, 11.00 uur 150 m³/uur, 13.25 uur 300 m³/uur.

4.5 Draft bepalingsmethode vangstefficiëntie wandafzuigkappen

Doelstelling is te komen tot een bepalingsmethode waarmee de vangstefficiëntie en daarmee de blootstelling aan contaminanten zoals PM_{2,5} onder realistische kookcondities bepaald kunnen worden. Zie hiervoor ook H6. Met name het doel om onder realistische condities te meten is afwijkend ten opzichte de ASTM en de IEC methoden die vooral gericht zijn om afzuigkappen met elkaar te vergelijken. De hier beschreven concept bepalingsmethode is echter gelimiteerd tot afzuigkappen die aan de wand worden gemonteerd. Voor plafond-, eiland-, en downdraft afzuigkappen dienen aanvullende methoden te worden ontwikkeld. Hieronder worden puntsgewijs een aantal kenmerken vastgelegd en toegelicht. Deze beschrijving dient te zijner tijd tot een formele testmethode te worden uitgebreid.

Geometrie proefkamer

Wat betreft de afmetingen van de proefkamer wordt aangesloten bij de ASTM en IEC 61591 proefkamer met afmetingen van 3,5 x 2,5 m. De hoogte in de ASTM methode dient tussen 2,4 en 2,5 m te bedragen. Dit is lager dan de Nederlandse Bouwbesluit eis. Om aansluiting te houden met de internationale methoden wordt bij voorkeur uitgegaan van een hoogte van 2,5 m. In de TNO proefkamer staat de L-vormige keuken aan de kortste zijde en is de ruimte niet geheel symmetrisch. Bij voorkeur staat het keukenblokje in het midden van de langste zijde zodat de keuken symmetrisch is en links en rechts meer ruimte is voor het toestromen van lucht.

Geometrie keuken

Bovenkastjes hebben een positief effect op de vangst efficiëntie. Echter aangezien deze in de praktijk steeds minder worden toegepast worden deze in de beproeving weg gelaten.

Luchtafvoer

Motorloze afzuigkappen worden in principe bij 300 m³/uur afzuigcapaciteit beproefd. Om te grote temperatuurverschillen in de proefkamer te voorkomen wordt aanbevolen om minimaal 150 m³/uur af toe te voeren. Afzuigkappen voorzien van een motor kunnen indien gewenst op een hoger debiet worden beproefd. Hierbij dient rekening te worden gehouden met een minimale tegendruk van het kanaalsysteem van 50 Pa. Zowel motorloze afzuigkappen als afzuigkappen met motor worden op een externe ventilator aangesloten. Het luchtdebiet wordt bepaald met een meetsectie met een orifice conform ISO 5167-2¹⁵. Daarnaast wordt ook indicatief de drukval over de afzuigkap bepaald door in de uitlaat van de afzuigkap de onderdruk ten opzichte van de proefkamer te meten.

Luchttoevoer

De luchttoevoer dient in evenwicht te zijn met de luchtafvoer. De metingen hebben laten zien dat de luchttoevoer een groot effect heeft op de luchtstromingen in de ruimte en kan daardoor tot verstoringen van het stromingspatroon bij de afzuigkap leiden. De optimale manier van luchttoevoer is nog onvoldoende onderzocht. Luchttoevoer kan plaatsvinden middels mechanische toevoer via een geperforeerd plafond of overstrom uit een andere ruimte via een centrale invoer in het midden van het plafond die naar achter is gericht (ASTM methode). Mogelijk verdient het de voorkeur om de lucht isotherm in te blazen.

¹⁵ ISO 5167-2 Measurement of fluid flows by means of pressure differential devices inserted in circular-cross section conduits running full. Orifice plates, 2003

Methode van koken

Vanwege de overgang in Nederland en in meerdere EU landen naar inductief koken, is ervoor gekozen om bij de bepalingsmethode uit te gaan van inductief koken. Op de voorste twee pitten worden twee RVS koekenpannen geplaatst die op een temperatuur van 200 °C worden gehouden. Het temperatuurmeetpunt, bijvoorbeeld een thermokoppel, dient zich midden in de pan te bevinden.

Tracergas dosering

Als tracergas wordt CO₂ gebruikt. Het tracergas wordt gelijkmatig gedoseerd in twee 24 cm diameter RVS koekenpannen, zie Figuur 26. Hiervoor kunnen bijvoorbeeld koperen buisjes in de pannen worden geplaatst. Om een gelijkmatige uitblaassnelheid over de gaatjes te verkrijgen dient de uitblaassnelheid uit de gaatjes twee maal de snelheid in de buis te bedragen. Een mogelijke uitvoering is een buisje met 15 gaatjes aan de onderzijde. De diameter van de gaatjes bedraagt 1,5 mm en de diameter van de buis 8 mm. CO₂ wordt met een mass flow controller vanuit een gasfles gedoseerd. De hoeveelheid CO₂ tracergas wordt zo ingesteld dat 1000 – 2000 ppm CO₂ in de afvoer wordt bereikt.



Figuur 26 positie pannen op fornuis en manier van CO₂ injectie.

Meetmethode

Op de volgende drie posities wordt de CO₂ concentratie gemeten, zie Figuur 27:

- In de luchttoevoer,
- In de kamer: voor het fornuis op een halve meter afstand van het aanrecht en qua hoogte halverwege het aanrecht en de onderkant van de afzuigkap en
- In de afvoerlucht

Bij voorkeur wordt de CO₂ concentratie met 3 separate sensoren tegelijkertijd gemeten. De sensoren dienen bij hoge en lage concentratie op elkaar te worden geijkt. Na het starten van de CO₂ dosering dient de lucht in de proefkamer minimaal vier maal te zijn verversd voordat 'steady state' wordt bereikt.

De vangstefficiëntie wordt onder 'steady state' conditie met de volgende formule berekend:

$$\eta = \left(\frac{C_{afvoer} - C_{kamer}}{C_{afvoer} - C_{toevoer}} \right) * 100\%$$

Bij aanname van een normale verdeling kan het 95% betrouwbaarheidsinterval wordt bepaald door de standaard deviatie van een aantal metingen met 1,96 te vermenigvuldigen.



Figuur 27 Opstelling voor bepaling vangstefficiëntie. Op het statief vóór de linker pan is de CO₂ ruimtelucht sensor zichtbaar. Geheel boven is de CO₂ sensor zichtbaar van de toevoer lucht. De derde sensor (niet zichtbaar) bevindt zich in de afvoerlucht van de afzuigkap.

Recirculatie

Bij recirculatie kan de geur afvangst worden bepaald met de bestaande IEC 61591 methode. Aanvullend daarop wordt hier een bepalingsmethode voor de vangstefficiëntie van PM_{2,5} beschreven. Feitelijk bestaat deze uit het product van twee efficiënties:

- De aerodynamische vangst efficiëntie, deze kan worden bepaald zoals met de in het voorgaande beschreven methode voor inductie;
- De efficiëntie van het fijnstof filter ten aanzien van PM_{2,5}, deze dient dan wel te worden bepaald bij dezelfde (aan)stromingscondities als in de afzuigkap.

Meest praktisch is de aerodynamische en de filter efficiëntie tegelijkertijd te beproeven gebruik makend van de hiervoor beschreven bepalingsmethode. In

plaats van CO₂ wordt PM_{2,5} als tracer gebruikt. De testmethode is deels in het TKI toeslag project KEEK ontwikkeld. Hiertoe worden in een RVS koekenpan met een diameter van 24 cm in 15 g olijfolie gedurende 10 minuten 3 hamburgers gebakken bij 180 °C, zie Figuur 28. Voorafgaande aan het plaatsen van de hamburgers wordt olijfolie toegevoegd en de pan opgewarmd. Direct bij het opwarmen wordt de afzuigkap ingeschakeld. Gedurende het bakken worden de hamburgers driemaal gekeerd. Aan het eind van de bakperiode wordt de pan met een deksel afgedekt zodat geen fijnstof aan de kamer wordt geëmitteerd. De fijnstof meting wordt nog gedurende minimaal 20 minuten voortgezet om de depositiesnelheid te kunnen bepalen. De keuken wordt met 75 m³/uur geventileerd, conform de Bouwbesluit capaciteit eis voor keukens. Een aandachtspunt is dat dient te worden voorkomen dat de kookdampen die door de recirculatiekap worden uitgeblazen direct door het ventiel van de ruimteventilatie worden afgezogen. Hiertoe kan de ruimteafzuiging in het midden van de ruimte worden geplaatst. De filter efficiëntie wordt bepaald door de PM_{2,5} emissie met en zonder afzuigkap te bepalen met de methode van Ott¹⁶. Deze methode corrigeert voor de tijdens het bakken optredende verdunning door ventilatie en depositie.

$$\eta = \frac{PM_{2,5} \text{ emissie met filter}}{PM_{2,5} \text{ emissie zonder filter}} * 100\%$$

PM_{2,5} wordt gemeten met een geijkte optische deeltjesteller met een onnauwkeurigheid van maximaal 3% (bijvoorbeeld Grimm11-R of Palas Fidas Frog). Met behulp van een mengventilator wordt de lucht in de kamer goed opgemengd. De deeltjesteller wordt op aanrechthoogte op ongeveer 2 m afstand van de koekenpan geplaatst zodat eventuele kookdampen zich kunnen vermengen met de ruimtelucht voordat ze de deeltjesteller bereiken.



Figuur 28 RVS pan diameter 24 cm met temperatuur sensor midden in de pan en daaromheen drie hamburgers voor bepaling PM_{2,5} vangstefficiëntie recirculatiekap.

¹⁶ Ott, W. R, et al (2006). Exposure Analysis: Mathematical Modeling of Indoor Air Quality, CRC Press: 533

5 WP 6 Inbedding in de regelgeving

5.1 Prestatie eisen gericht op verminderen blootstelling en minimaliseren energiegebruik

Afstemming met BZK

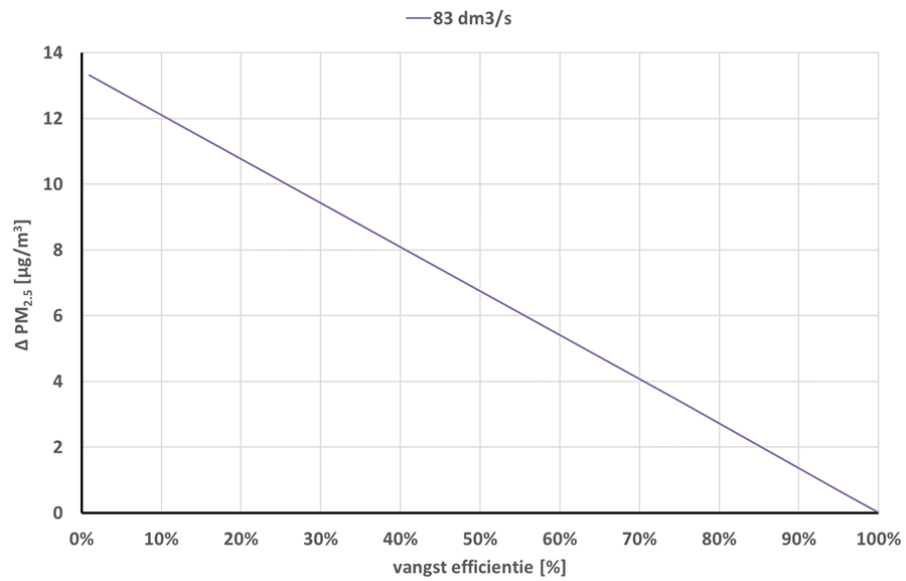
Op 9 februari 2017 is in een uitzending van het televisieprogramma *De kennis van nu* het effect op de blootstelling aan fijnstof door koken uitgezonden. Op die dag is ook op radio 1 bij Nieuws en Co hier aandacht aan besteed. Dit heeft er toe geleid dat er op 28 maart kamervragen zijn gesteld door de kamerleden Dijkstra en Visser aan de staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu. In het antwoord op één van deze vragen refereert de staatssecretaris naar het binnen TKI Urban Energy lopende project VentKook. En geeft de staatssecretaris aan dat ze eerst de uitkomsten van dit onderzoek afwacht. In het kader hiervan is op 6 september 2017 door een beleidsmedewerker van het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties (BZK) een bezoek gebracht aan de proefkamer in het MEC lab en zijn de eerste resultaten van het onderzoek met TNO besproken. Op 24 januari 2018 is een notitie verstuurd aan de betreffende beleidsmedewerker met daarin een onderbouwing van de minimaal benodigde afzuigcapaciteit voor kookafzuiging. Deze notitie komt inhoudelijk overeen met paragraaf 2.1 *Modelmatige beschrijving en functionele eisen* van dit rapport. BZK heeft op deze notitie nog niet direct naar TNO inhoudelijk gereageerd. Indirect heeft TNO vernomen in het kader van de aanpassing van de NEN 1087 dat BZK nog niet overtuigd is van de benodigde aanpassingen voor de wettelijke eis voor kookafzuiging. BZK vindt dat er eerst meer onderzoek moet plaatsvinden. TNO is hierover nog met BZK in gesprek.

Privaatrechtelijk label

Uitgangspunt voor de ontwikkeling van een label is dat de consument in 1 oogopslag het effect van de vangstefficiëntie van een afzuigkap op de toename van de $PM_{2,5}$ fijnstof concentratie kan begrijpen, zie Figuur 29. De vangstefficiëntie loopt van 0 tot maximaal 100%. Daarnaast zou gebruik kunnen worden gemaakt aan een A tot en met F klasse indeling analoog aan de energie efficiëntie labels, zie Tabel 10. Bij klasse C is de verhoging minder dan $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en kan bij een gemiddeld kookgedrag aan de WHO advieswaarde van $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ jaargemiddeld worden voldaan. In klasse B en A is de blootstellingsverhoging nog geringer.

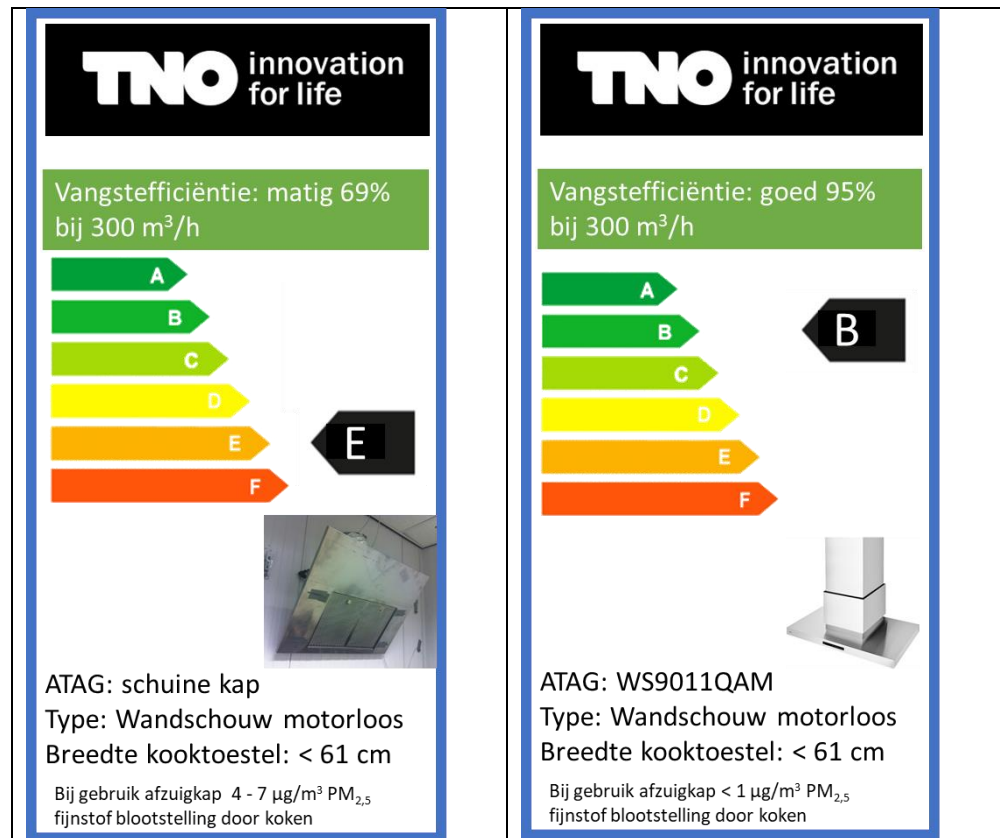
Tabel 10 Klasse indeling label afzuigkap als functie van vangstefficiëntie en toename in $PM_{2,5}$ blootstelling

Klasse	ondergrens	Bovengrens	$\Delta PM_{2,5}$ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
A	99%	100%	0
B	90%	99%	<1
C	80%	90%	1 - 3
D	70%	80%	3 - 4
E	50%	70%	4 - 7
F		50%	> 7



Figuur 29 verhoging PM_{2.5} blootstelling in woning als functie van vangstefficiëntie..

In Figuur 30 worden twee voorbeelden van labels gegeven van in dit onderzoek bemeten afzuigkappen.



Figuur 30 twee voorbeelden van een mogelijke opzet voor afzuigkap label.

5.2 Afstemming met CEN TC 156

De CEN TC 156 is bezig met de revisie van EN 13141- "Ventilation for buildings - Performance testing of components/products for residential ventilation - Part 3: Range hoods for residential use without fan". In de huidige groene concept versie wordt grotendeels gebruikt gemaakt van de IEC 61591 norm uit 1997 voor de bepaling van geurextractie. Fijnstof is nog niet in de norm opgenomen.

In overleg met de Nederlandse vertegenwoordiger in deze werkgroep is er voor gekozen om op basis van onderzoek in VentKook een innovatieve methode te ontwikkelen om de bijdrage van koken aan de totale blootstelling aan fijnstof die bewoners oplopen te berekenen.

Om dit verder te exploreren is contact gezocht met de research groep in Berkeley (LBNL) die ook veel onderzoek uitvoert naar het effect van kookafzuiging. Samen met LBNL zijn twee artikelen geschreven voor de Indoor Air conferentie in Philadelphia (juli 2018) en de AIVC conferentie in Antibes Juan-Les-Pins (Fra), september 2018. Beoogd wordt om de feedback die in deze conferenties wordt opgedaan te gebruiken om een gedragen voorstel in de CEN TC 156 in te brengen.

6 Conclusie en aanbevelingen

Ontwerprichtlijnen

Op basis van de metingen en simulaties in dit project wordt wat betreft kookafzuiging een afzuigcapaciteit van minimaal 83 dm³/s (300 m³/uur) aanbevolen. Dergelijke debieten vereisen voldoende ruime afvoerkanalen die reeds in het ontwerp dienen te worden geïntegreerd. In de ontwerpfase van een woning, met name bij seriematige bouw, is het vaak nog niet bekend wat voor soort keuken en kookafzuiging later zal worden geïnstalleerd. Wat van belang is dat in dit stadium bewoners de mogelijkheid wordt geboden kookafzuiging met een afvoer direct naar buiten te realiseren.

Aanbevelingen

Aanbevolen wordt om in een nieuwbouwwoning adequate kookafzuiging te realiseren bijvoorbeeld door

- Ventiel in de keuken met een capaciteit van minimaal 83 dm³/s waarop een motorloze afzuigkap kan worden gemonteerd. Deze zogenaamde kookstand van het ventilatiesysteem wordt alleen tijdens het koken gebruikt;
- Een 'loze' afvoerbuï direct naar de gevel of uitmondend in de nok met een maximale drukval van 25 Pa bij 83 dm³/s, streefwaarde 10 Pa¹⁷. Te denken valt aan een kanaal van 180 mm met maximaal 2 ruime bochten.

Echter, hoe realiseer je dit in bestaande woningen? Hier is mogelijk een bestaand concept zoals de Duo Logic een goede oplossing. Dit is een afzuigkap die zoveel mogelijk lucht afvoert via het in de keuken aanwezige ventiel van het mechanische ventilatie systeem en deels lucht recirculeert over vet- en geurfilters. Begin 2019 levert ATAG hiervoor ook een additioneel fijnstof filter. Voordeel hiervan is dat 83 dm³/s lucht op fijnstof wordt gefilterd en er maximaal lucht naar buiten wordt afgevoerd. Dit laatste is van belang voor de afvoer van vocht en verbrandingsgassen.

Verbeterde afzuigkappen

Er zijn in het project drie soorten afzuigkappen onderzocht, te weten een recirculatiekap, een motorloze kap (aan te sluiten op het ventilatiesysteem) en een balanskap, met een directe afzuiging naar buiten. Het onderzoek gaf aanleiding tot de volgende conclusies:

- Bestaande recirculatiekappen verwijderen vooral geuren, maar geen fijnstof. In dit project zijn filters onderzocht die initieel meer dan 99% van de fijnstof afvangen. Echter, de hoge prestatie was te danken aan elektrostatische lading op het gebruikte filter, die bij latere filter mogelijk in mindere mate aanwezig was, waardoor de efficiëntie voor fijnstofverwijdering van deze filters varieerde tussen 40 en 85%.
- De in dit project onderzochte motorloze kappen presteerden het best indien zij voldoende uitstaken om de kookgassen van de voorste pitten in te kunnen vangen. Hiervoor is in samenwerking met ATAG een aantal visueel aantrekkelijk prototypes gebouwd.

¹⁷ Huidige afzuigkap testnorm 61591 gaat bij een 150 mm aansluiting op de afzuigkap uit van een tegendruk in het kanaal van 5 Pa bij 56 dm³/s

- Een belangrijke drijfveer voor het ontwikkelen van een balanskap was dat bestaande afzuigkappen bij het gewenste afzuigdebiet van 300 m³/uur in luchtdichte woningen een sterke onderdruk veroorzaken. Echter, de balanskap kampt met twee tegenstrijdige eisen: enerzijds moet de thermische efficiency van de warmteterugwinning voldoende hoog zijn om te voorkomen dat de ingeblazen lucht comfortproblemen veroorzaakt (typisch >90%), anderzijds mag het thermisch rendement niet hoger zijn dan ca. 60% om te voorkomen dat condensvorming optreedt en condenswater op de kookplaat druppelt. Verder onderzoek naar alternatieve uitvoeringen is hier gewenst.

Aanbevelingen

- Bij de recirculatiekap is nader onderzoek naar het effect van filter materiaal eigenschappen is noodzakelijk om een goed product met een constante vangst efficiëntie te verkrijgen. Dit geldt niet alleen voor fijnstof maar ook voor NO₂, indien op gas wordt gekookt
- Bij de balanskap is verder onderzoek nodig naar alternatieve uitvoeringen om de tegenstrijdige eisen ten aanzien van het thermisch rendement van de warmtewisselaar op te lossen.

Bepalingsmethoden

In VentKook is een nieuwe bepalingmethode ontwikkeld waarmee de vangstefficiëntie en daarmee de blootstelling aan contaminanten zoals PM_{2,5} onder realistische kookcondities kan worden vastgesteld. De bepalingmethoden kunnen worden gebruikt bij de ontwikkeling van kwaliteitslabels voor afzuigkappen.

Aanbevelingen

De hier beschreven concept bepalingmethode is gelimiteerd tot afzuigkappen die aan de wand worden gemonteerd. Voor plafond-, eiland-, en downdraft afzuigkappen dienen aanvullende methoden te worden ontwikkeld.

7 Overzicht openbare publicaties

Aangezien bewustwording ten aanzien van het binnenmilieu een belangrijke voorwaarde is om kookafzuiging in energie efficiënte woningen te verbeteren zijn de resultaten uit het project zijn op meerdere momenten gedissemineerd.

Artikelen in wetenschappelijke magazines en conferentiebijdragen:

P. Jacobs, W. Kornaat, W. Borsboom, Fijnstof bij koken, het effect van kookafzuiging op fijnstofconcentraties in woningen, *Bouwfysica*, 1, 2017

Healthy buildings conferentie, "Efficiency of recirculation hoods with regard to PM_{2.5} and NO_x", juli 2-5, 2017, Lublin, Polen

AIVC 2017 Conferentie: Topical Session: "Residential cooker hoods and kitchen ventilation", Efficiency of recirculation hoods, 13-14 september, 2017, Nottingham, UK

P. Jacobs, W. Borsboom, Cooking exhaust systems for low energy dwellings, *Rehva Journal*, December 2017.

Effect of capture efficiency on indoor PM_{2.5} exposure from cooking, 5th Working and Indoor Aerosols Conference, Cassino (It), april 2018.

P. Jacobs, W Borsboom, W. de Gids, I. Walker, Methodology to assess the exposure to cooking emissions in combination with the efficiency of range hoods, ISIAQ conference, Philadelphia, juli 2018.

Effect of disturbances on cooking capture efficiency, AIVC conference, Antibes Juan-Les-Pins (Fra), september 2018.

Magazines:

De nieuwste inzichten over fijnstof in huis, Eigen huis magazine, p. 16 – 21, april 2018

Aftellen naar nul in het NeroZero-lab, Duurzaam gebouwd, p. 86 – 89, juni 2018.

Krantenartikelen:

Ziek van de binnenlucht, *Parool*, zaterdag 16 december 2017.

Koken verhoogt peil fijnstof in huis, Volkskrant, Wetenschap, p. 27 7 februari 2018.

Hoed u voor wokken, NRC Next, 23 april 2018

Presentaties:

14 juni 2017: Bouwfysicadag: presentatie over fijnstof bij koken

23 juni 2017 : lezing op AFPRO filter klantendag over fijnstof bij koken

7 september 2017: platform Economie en Ruimte over fijnstof in de keuken

27 september 2017: kooklab bij minisymposium Dutch Green Building Week

2 november 2017: Dag van de binnenlucht presentatie over kookafzuiging

23 november 2017: Ravebo klantendag, fijnstof bij koken

8 maart 2018: lezing over kookafzuiging bij symposium naar aanleiding opening NeroZero lab Heerhugowaard

5 april 2018: ISIAQ.nl symposium Binnenmilieu in energie-efficiënte woningen, Belang van kookafzuiging in luchtdichte woningen, TU Eindhoven

Websites:

<https://www.installatieprofs.nl/nieuws/klimaat-en-ventilatie/ventilatie/nerozero-lab-in-heerhugowaard-geopend-met-pannenkoeken>

Televisie:

Kennis van nu, 9 februari, 2017

Broodje gezond, aflevering Bak en Braad, 4 juni 2018, NPO3

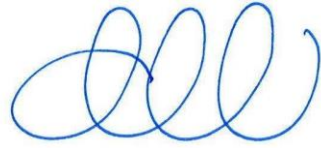
Kamervragen:

28 maart 2017, kamerleden Dijkstra en Visser aan de staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu.

8 Ondertekening

Delft, 20 september 2018

TNO



Ir. A.C. Westerlaken
Research Manager



ir. P. Jacobs
Auteur