

Leeghwaterstraat 44
2628 CA Delft
P.O. Box 6012
2600 JA Delft
The Netherlands

www.tno.nl

T +31 88 866 22 00

TNO report

TNO 2020 R11612

Openbaar eindrapport TKI Efficiënte kookapparatuur als een service

Date	2 november 2020
Author(s)	ir. P. Jacobs ing. O. Vijlbrief ing. H.J.M. Cornelissen BSc.
Number of pages	40 (incl. appendices)
Number of appendices	1
Sponsor	TKI Urban Energy Projectnr 1721202 Penvoerder: TNO Partners: ATAG Filtech Bribus
Project name	Efficiente kookapparatuur als een service
Project number	060.33226

All rights reserved.

No part of this publication may be reproduced and/or published by print, photoprint, microfilm or any other means without the previous written consent of TNO.

In case this report was drafted on instructions, the rights and obligations of contracting parties are subject to either the General Terms and Conditions for commissions to TNO, or the relevant agreement concluded between the contracting parties. Submitting the report for inspection to parties who have a direct interest is permitted.

© 2020 TNO

Samenvatting

Aanleiding

Inefficiënte kookafzuiging is een belangrijke barrière voor het realiseren van gezonde energiezuinige woningen. Het ontbreekt momenteel aan renovatieconcepten waarbij ventilatie, kookafzuiging en energiezuinige kookapparatuur optimaal op elkaar zijn afgestemd. In bestaande woningen waar veel recirculatiekappen worden toegepast ontbreekt het aan efficiënte filters die gezondheidsrelevante fracties in kookemissies afvangen.

Down-draft is een nieuwe techniek die de wereld van ontwikkelaars van afzuigkappen letterlijk op zijn kop zet. Bij ATAG zijn een aantal kennisvragen hoe deze techniek optimaal te laten werken. Momenteel bestaat alleen een bepalingsmethode voor de geuraufvangst, een bepalingsmethode ten aanzien van PM_{2.5} fijnstof ontbreekt.

Doelstellingen

1. Specificaties ontwikkelen voor fijnstoffilters voor recirculatieafzuigkappen en uitvoeren van een energieanalyse (WP1).
2. Ontwikkelen van een meetopstelling en een CFD programma voor down-draft en optimalisatie van down-draft concepten en uitvoeren van een energieanalyse (WP2).
3. Concepten ontwikkelen waarmee woningbouwcorporaties op een energie efficiënte wijze gezonde kookapparatuur als service kunnen aanbieden waarmee de concentratie PM_{2.5} fijnstof onder de WHO-advieswaarde blijft (WP3).

Aanpak

Voor de ontwikkeling van een fijnstoffilter voor recirculatieafzuigkappen (WP 1) hebben TNO, ATAG en Filtech nauw samengewerkt om een optimaal product te verkrijgen wat betreft fijnstof vangstrendement, drukval en betaalbaarheid. Dit product is in een kleinschalige praktijktest (WP 3) in twee huurwoningen van woningbouwcorporatie Eigen Haard beproefd.

In WP 2 is in het TNO-laboratorium door Bribus een opstelling gerealiseerd voor het testen van down-draft kookafzuiging. Vervolgens zijn een aantal typische down-draft modellen doorgemeten. Deze meetresultaten zijn gebruikt om een Computational Fluid Dynamics (CFD) model te valideren. Vervolgens is dit CFD model gebruikt om een bij ATAG in ontwikkeling zijnde down-draft unit te optimaliseren.

Resultaten

Werkpakket 1 Ontwikkeling fijnstoffilter voor afzuigkap

Op basis van de jaargemiddelde WHO PM_{2.5} advieswaarde van 10 ug/m³ en gemiddeld kookgedrag is de specificatie voor het filter rendement afgeleid. Bij een goede invang van kookdampen door de afzuigkap (aerodynamische vangstefficiëntie van 95%) dient de vangstefficiëntie van het fijnstoffilter minimaal

84% te bedragen. Er zijn een aantal verschillende filterkwaliteiten en afmetingen getest. Op basis van de meetresultaten en de te verwachten levensduur is besloten om een F7 en een F9 filter in combinatie met koolstof te selecteren voor de praktijktest in WP3. Deze door Filtech geproduceerde filters worden door ATAG op de markt gebracht als een universeel toepasbaar filter. Naast dit filter zijn nog een aantal andere filters specifiek voor inbouw in bepaalde afzuigkappen ontwikkeld en in het TNO-laboratorium op fijnstof vangstefficiëntie getest.



Figuur 1 Door ATAG ontwikkelde rechthoekige filter module met kool (links) die in een filterbak wordt geplaatst die bovenop een keukenkastje kan worden aangebracht (rechts).

Conclusie ten aanzien van energiebesparing op basis van een graaddagen analyse is dat een goedwerkende recirculatiekap in een goed geïsoleerde woning typisch een energiebesparing van 100 kWh elektrisch per jaar kan opleveren ten opzichte van afvoer naar buiten. Bij een lager filter fijnstof vangstrendement wordt de besparing al snel tenietgedaan door additionele spuiventilatie om aan de WHO-advieswaarde van PM_{2.5} te voldoen.

Werkpakket 2 Down-draft afzuigkap

De bestaande testfaciliteit in het TNO MEC lab is in 2016 het kader van het TKI toeslag project KEEK opgezet. Deze faciliteit bestaat uit twee identieke L-vormige keukens, waarbij in de ene keuken koken op gas en in de andere inductief koken kon worden gesimuleerd. TNO en Bribus hebben samen een ontwerp gemaakt voor de aanpassing van deze bestaande experimentele faciliteit. Vervolgens is de ene testkamer ingericht om testen uit te voeren aan fijnstoffilters voor recirculatieafzuigkappen, deze kamer is in WP1 gebuikt. De andere testkamer is uitgevoerd met een keukeneiland waarin gangbare down-draft modellen kunnen worden geïntegreerd.

Om down-draft kookafzuiging te karakteriseren is een meetmethode ontwikkeld waarbij met speciaal ontworpen elektrische pannen zeer nauwkeurig en reproduceerbaar het verwarmingsvermogen van de pannen kan worden ingesteld. Analoog aan het in TKI VentKook¹ ontwikkelde meetprotocol is ook hier ervoor gekozen om CO₂ als tracergas te gebruiken. Het CO₂ wordt op identieke wijze gedoseerd via twee koperen buisjes die op de bodem van de pannen zijn geplaatst, zie Figuur 2. Om deze methode te testen is voor een 7 tal op de markt verkrijgbare down-draft units bij een vast debiet van 425 m³/uur de vangstefficiëntie bepaald.

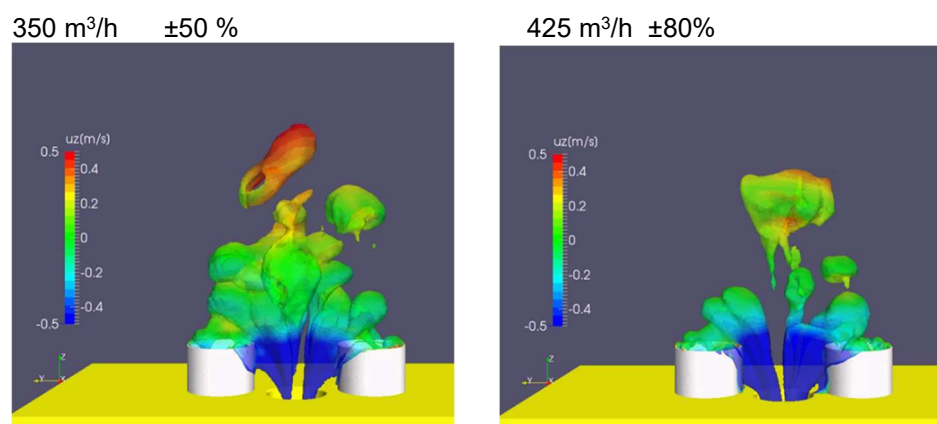
¹<https://projecten.topsectorenergie.nl/storage/app/uploads/public/5c8/683/2e9/5c86832e9f0d8059461253.pdf>

Drie units met een 'compact' ontwerp, waarbij de pannen dichtbij de luchtafvoer staan, haalden een vangstefficiëntie van meer dan 90%. Een unit met een luchttechnisch minder optimale geometrie haalde bij het zelfde afzuigdebiet een vangstefficiëntie van slechts 30%. De inzichten zijn gebruikt om de vangstefficiëntie van een bij ATAG in ontwikkeling zijnde prototype down-draft verder te verbeteren. Daarnaast is ook een paper op de ISIAQ-ICES conferentie in Kaunas, Litouwen gepresenteerd.



Figuur 2 Experimentele opstelling voor het testen van down-draft toestellen

Het in TKI KEEK ontwikkelde Computational Fluid Dynamics (CFD) model voor schouwkappen is uitgebreid naar down-draft systemen. Figuur 3 laat simulatieresultaten zien. Vergeleken met de meetresultaten worden de trends goed voorspeld. Kwantitatief is er een redelijke overeenkomst, de afwijking tussen het CFD-model en alle goed gedocumenteerde meetresultaten bedraagt maximaal 10 procentpunt.



Figuur 3 Simulatie resultaten CFD rekenmodel voor down-draft bij twee afzuigdebieten resulterend in 50 en 80% vangstefficiëntie.

De conclusie ten aanzien van energiebesparing is dat door toepassing van een efficiënte down-draft met adequaat fijnstoffilter er ten opzichte van een woning met

een down-draft en afvoer naar buiten een energiebesparing optreedt van circa 430 kWh per jaar. In een woning uitgerust met een warmtepomp komt dit overeen met 140 kWh elektrisch.

Werkpakket 3 Energiezuinige renovatieconcepten inclusief kookafzuiging

Uit een kleinschalig uitgevoerde praktijkproef blijkt dat het in WP1 ontwikkelde fijnstoffilter voor de recirculatieafzuigkap nog onvoldoende presteert. Meest waarschijnlijke oorzaak is dat de hoeveelheid vochtige en vette dampen bij het dagelijkse koken de elektrostatische eigenschappen van het filter negatief beïnvloedt. In de toekomst zullen door ATAG en Filtech zogenaamde nano filtermaterialen worden onderzocht.

Bij renovatie wordt kookafzuiging nog onvoldoende meegenomen. Het is verstandig dit wel te doen omdat door de na-isolatie de woningen vaak veel luchtdichter worden. Hierdoor kunnen kookdampen langer blijven hangen. Uit een gedetailleerde analyse van een renovatieproject bij Eigen Haard blijkt dat wordt volstaan met de ventilatie eisen uit het Bouwbesluit. Er wordt echter onvoldoende rekening gehouden met de mogelijkheid tot plaatsing van een adequate afzuigkap door de huurder.

De volgende drie concepten voor kookafzuiging zijn toepasbaar bij renovatie:

- Afvoer direct naar buiten via een geïsoleerd en bij oplevering afgeblind kanaal, waarop de huurder zelf een afzuigkap met motor kan aansluiten;
- Motorloze afzuigkap aangesloten op keukenventiel (minimaal 300 m³/uur afzuigcapaciteit) van het balansventilatiesysteem;
- Hybride systeem, de afvoer via het ventilatiesysteem wordt gecombineerd met de techniek van een recirculatieafzuigkap.

Deze concepten zijn ook ingebracht in twee werksessies van de NEPROM themagroep Betere Kookafzuiging om concepten voor nieuwbouw te ontwikkelen. Samen met leveranciers van afzuigkappen en leveranciers van ventilatiesystemen en een drietal grote aannemers is de brochure *Betere kookafzuiging in nieuwbouwwoningen* ontwikkeld. Deze brochure is via de LenteAkkoord website beschikbaar. Alle drie de concepten hebben nog zwakke punten die nader onderzoek behoeven. Een belangrijk probleem blijkt dat het nog onduidelijk is hoe tochtvrij grote luchthoeveelheden toe te voeren bij het in gebruik zijn van een afzuigkap in een luchtdichte woning. Componenten zijn al wel beschikbaar echter het ontbreekt momenteel aan beproefde praktijkvoorbeelden. Aanbevolen wordt om met marktpartijen demonstratieprojecten uit te voeren waarin ventilatie en kookafzuiging optimaal worden geïntegreerd.

Vanuit de circulaire ambitie is er binnen dit project onderzocht wat de mogelijkheden zijn van het implementeren van circulaire businessmodellen. Dit gaat enerzijds over een prestatieverplichting voor de eindgebruiker en anderzijds over een lease concept vanwege het versneld mogelijk maken van de energietransitie in sociale woningbouw. Hierbij is een monitoring van belang om te borgen dat de concentratie PM_{2.5} fijnstof onder de WHO-advieswaarde blijft. Deze monitoring zou ook kunnen worden ingezet voor het borgen van de kwaliteit en een goed gebruik van het ventilatiesysteem.

Contents

	Samenvatting	2
1	Introductie	7
1.1	Aanleiding en probleemstelling.....	7
1.2	Doelstelling	8
1.3	Werkwijze	8
1.4	Gegevens project.....	8
2	WP 1 Ontwikkeling fijnstoffilter voor afzuigkap	9
2.1	Ontwikkeling fijnstoffilters	9
2.2	Validatiemetingen praktijkproef filters.....	14
2.3	Filterspecificaties en aanbevelingen voor nader onderzoek	16
2.4	Energieanalyse	17
3	WP 2 Down-draft kookafzuiging.....	18
3.1	Aanpassen experimentele opstelling.....	18
3.2	Onderzoeken stromingspatroon en vangstefficiëntie down-draft	19
3.3	CFD analyse down-draft	22
3.4	Energieanalyse down-draft.....	23
4	WP3 Energiezuinige renovatieconcepten inclusief kookafzuiging	24
4.1	Conceptontwikkeling.....	24
4.2	Monitoring renovatieconcepten	28
4.3	Ontwikkeling kookapparatuur als een service	34
5	Conclusies en mogelijkheden voor spin off en vervolgactiviteiten	36
5.1	Conclusies en aanbevelingen.....	36
5.2	Mogelijkheden voor spin off en vervolgactiviteiten	37
5.3	PR en wijze van kennisverspreiding.....	37
6	Handtekening	38
	Appendices	
	A Energieverlies door kookafzuiging	

1 Introductie

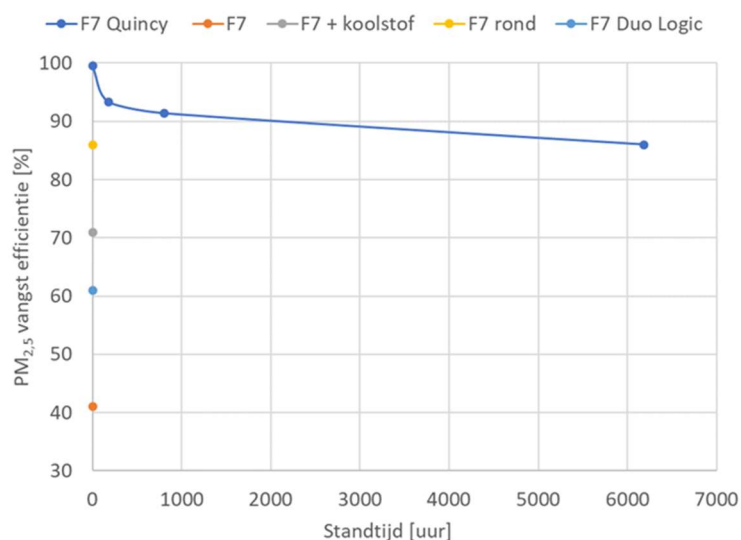
1.1 Aanleiding en probleemstelling

Energiezuinige renovatieconcepten met effectieve kookafzuiging ontbreken

Bij renovatie wordt kookafzuiging momenteel nog onvoldoende geadresseerd. Dit kan een barrière vormen voor het realiseren van gezonde energiezuinige woningen. Veelal worden recirculatiekappen toegepast of wordt volstaan met een afzuigventiel in de keuken wat aan de bouwbesluit eisen voldoet. Uit voorlopige resultaten van TKI VentKook blijkt dat in de keuken een afzuigdebiet van vier maal het bouwbesluit debiet noodzakelijk is. In TKI VentKook is onderzocht hoe je dat in een nieuwbouwwoning kunt realiseren. Echter, hoe realiseer je dit in bestaande woningen? En hoe voorkom je dat omdat je van gas op elektrisch koken overgaat in woningen de elektra moet verzwaren?

Reductie van fijnstof door optimalisatie elektrostatische filtermaterialen

Het TKI project KEEK heeft aangetoond dat de huidige koolfilters in recirculatiekappen niet of nauwelijks fijnstof afvangen. In het TKI project VentKook zijn daarom filters ontwikkeld voor recirculatiekappen die fijnstof afvangen. Deze polypropyleen filters geleverd door Filtech hebben elektrostatische eigenschappen. Hierdoor kunnen ze bij een beperkte drukval toch een hoog vangstrendement behalen wat gunstig is voor het energiegebruik van de afzuigkap en het geluidsniveau. In een duurproef behield een standaard in luchtbehandeling toegepast F7 filter gedurende lange tijd een relatief hoge vangstefficiëntie ten aanzien van $PM_{2,5}$, zie de blauwe lijn in Figuur 4.



Figuur 4 Variatie in initiële $PM_{2,5}$ vangstefficiëntie voor een aantal F7 filters en afname in de tijd van het best presterende filter (bron: TKI VentKook)

Echter bij de doorontwikkeling naar een product wat toepasbaar is in afzuigkappen bleek dat de initiële vangstefficiëntie van een aantal F7 testfilters varieerde tussen 41 en 86% en de zeer hoge efficiëntie van het standaard filter niet meer werd

gehaald. Nader onderzoek naar het effect van materiaaleigenschappen van het filter is noodzakelijk om een goed product met een constante kwaliteit te verkrijgen.

Werking down-draft kookafzuiging onbekend

Down-draft is een nieuwe techniek die de wereld van ontwikkelaars van afzuigkappen letterlijk op zijn kop zet. Bij ATAG zijn een aantal kennisvragen hoe deze techniek optimaal te laten werken. Consumenten zijn zeer gecharmeerd van het visuele uiterlijk van down-draft. Onduidelijk is echter hoe goed de apparaten werken. Momenteel bestaat alleen een bepalingsmethode voor de geurafvangst, een bepalingsmethode ten aanzien van $PM_{2,5}$ fijnstof ontbreekt.

1.2 Doelstelling

Kennis ontwikkelen waarmee leveranciers effectieve kookapparatuur kunnen aanbieden die toepasbaar is bij renovaties in bestaande situaties. Doelstelling is dat de blootstelling van de bewoner ten aanzien van de door koken veroorzaakte $PM_{2,5}$ fijnstofemissies in de steeds luchtdichtere woningen onder de WHO-normwaarde blijft.

1.3 Werkwijze

Wat betreft de doorontwikkeling van het fijnstoffilter voor recirculatiekap (WP 1) hebben TNO, ATAG en Filtech nauw samengewerkt om een wat betreft fijnstof vangstrendement, drukval en betaalbaarheid optimaal product te verkrijgen. Het programma van eisen is door Eigen Haard en Bribus opgesteld vanuit het perspectief van de eindgebruiker. Het product is in een kleinschalige praktijktest (WP 3) in twee huurwoningen van Eigen Haard beproefd.

In TKI VentKook is een bepalingsmethode opgesteld voor schouwafzuigkappen met afvoer naar buiten. In dit project wordt in WP 2 deze bepalingsmethode uitgebreid voor down-draft kookafzuiging zodat de prestaties kunnen worden gekwantificeerd wat een belangrijke vereiste is voor de verdere doorontwikkeling buiten dit project.

1.4 Gegevens project

Projectnummer: 1721202

Projecttitel: Efficiënte kookapparatuur als een service

Penvoerder en medeaanvragers: TNO (penvoerder), ATAG, Bribus, Eigen Haard, Filtech

Projectperiode: 1 november 2018 – 31 juli 2020

2 WP 1 Ontwikkeling fijnstoffilter voor afzuigkap

2.1 Ontwikkeling fijnstoffilters

2.1.1 Programma van Eisen fijnstoffilter

Het belangrijkste uitgangspunt is dat door het fijnstoffilter de PM_{2.5} fijnstof blootstelling voldoet aan de jaargemiddelde WHO-advieswaarde van 10 ug/m³. Bij aanname van een binnenconcentratie exclusief koken van 7 ug/m³ is hiervoor een vangstefficiëntie van circa 80% vereist (zie figuur 4, openbare eindrapport VentKook).

Bij een recirculatie afzuigkap bestaat de vangstefficiëntie uit het product van twee efficiënties:

- De aerodynamische vangstefficiëntie (η_{aero}), in welke mate is de afzuigkap in staat om de kookdampen direct af te vangen;
- De efficiëntie van het fijnstoffilter (η_{filter})

Vangst efficiëntie = $\eta_{aero} * \eta_{filter}$

Beide bepalingmethoden staan in detail beschreven in de eindrapportage van TKI VentKook in paragraaf 4.5.

Bij aanname van een aerodynamische vangstefficiëntie van 95% dient de efficiëntie van het fijnstoffilter minimaal 84% te bedragen.

Tabel 2-1 Programma van Eisen (PvE) fijnstoffilter voor recirculatie kap

	PvE fijnstoffilter
Interactie met de woning	n.v.t.
Vangst efficiëntie bij 300 m ³ /uur	> 95%
Filter rendement PM _{2.5} deeltjes	> 84%
Maximale drukval filter	-
Filterstandtijd	> 6 maanden
Kwaliteit vetfilter (GFE, EU 2013)	B: 85% < GFE < 95%
Aansturing	3 standen
Comfort (tocht door toevoerlucht)	n.v.t.
Warmteterugwinning	n.v.t.

Andere eisen zijn dat het filter bij voorkeur ook toepasbaar is in bestaande ATAG afzuigkappen. Dit bepaalt de maximale filterafmetingen.

De maximale kosten per jaar zouden de ordegrrootte van 50 tot 100 euro niet mogen overschrijden.

2.1.2 Meetmethode fijnstof

De metingen zijn uitgevoerd in het TNO MEC laboratorium in een testkamer met een volume van 26 m³. De meetmethode is ontwikkeld in TKI toeslag project KEEK en doorontwikkeld in TKI VentKook. 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. 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 fijnstofmeting wordt nog gedurende minimaal 20 minuten voortgezet om de depositiesnelheid te kunnen bepalen. De keuken wordt met 75 m³/uur geventileerd, conform de Bouwbesluit capaciteitseis voor keukens. De filterefficiëntie wordt bepaald door de PM_{2,5} emissie met en zonder filter te bepalen met de methode van Ott². 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} is gemeten met een geijkte Grimm11-R optische deeltjesteller met een onnauwkeurigheid van maximaal 3%. 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. Bij de referentiemetingen is de afzuigkap (ATAG WS9011QAM) ingeschakeld in stand 2 met vetfilter echter zonder fijnstoffilter. Afzuiggebieten zijn vastgesteld met een ACIN flowfinder.

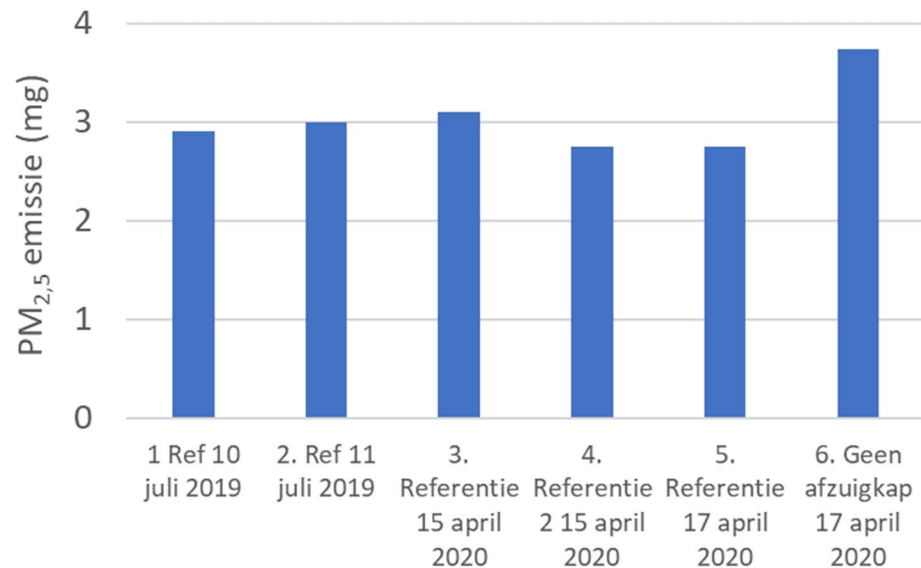


Figuur 5 Meetopzet fijnstofmetingen. Bovenop de afzuigkap is de filterbox zichtbaar waarin de te beproeven filters kunnen worden geplaatst.

² Ott, W. R, et al (2006). Exposure Analysis: Mathematical Modeling of Indoor Air Quality, CRC Press: 533

2.1.3 Referentiemetingen

Figuur 6 geeft een overzicht van 5 uitgevoerde referentiemetingen. De $PM_{2,5}$ emissie van de 5 metingen uitgevoerd over een periode van een jaar bevindt zich tussen 2,75 en 3,1 mg en bedraagt gemiddeld 2.9 mg. Daarnaast is ook een meting uitgevoerd zonder afzuigkap, de vastgestelde emissie bedraagt in dat geval 3,7 mg. Blijkbaar treedt er ook een emissiereductie op bij het passeren van het vetfilter en de ventilator.

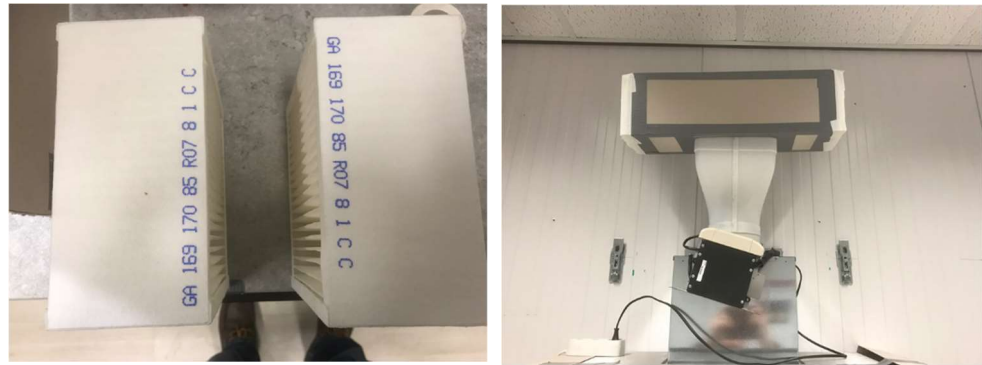


Figuur 6 Overzicht van de referentiemetingen na april 2019.

2.1.4 Filtermetingen voor schouwkap

Er zijn voor drie verschillende filterkwaliteiten (F7, F9 en E12) aan drie verschillende filtermodules die door Filtech zijn aangeleverd metingen verricht:

- Kleine filter modules die op een T-stuk kunnen worden gemonteerd en bedoeld zijn om aan de linker en rechterkant van een schouw gezuiverde lucht uit te blazen, zie Figuur 7.
- Vergelijkbare kleine filter modules met geïntegreerde koolstof.
- Rechthoekig koolstoffilter in filterbak, zie Figuur 8.



Figuur 7 Links een set kleine filter modules die op een T-stuk (rechts) kunnen worden gemonteerd en bedoeld zijn om aan de linker en rechterkant van de koof boven de schouw afzuigkap gezuiverde lucht uit te blazen.



Figuur 8 Rechthoekige filter module met koolstof (links) die in een filterbak wordt geplaatst (rechts).

Op basis van de meetresultaten is besloten om de validatiemetingen beschreven in paragraaf 2.2 en 4.2 met de rechthoekige filters met kool uit te voeren in F7 en F9 kwaliteit. Het E12 filter heeft een hogere efficiëntie, maar naar verwachting zal dit filter eerder dichtslaan, waardoor de drukval toeneemt en zal dit filter ook duurder zijn.

2.1.5 Filtermetingen voor plafond en down-draft units

Bij plafond en down-draft units zijn grotere afzuigdebieten en dus ook fijnstoffilters met een grotere capaciteit vereist dan bij de schouwkappen. De filterefficiëntie van deze filters is getest door deze op de ATAG WS9011QAM te plaatsen, deze te omkassen en de power stand (P) toe te passen. Bij deze powerstand wordt met deze filters een debiet van 500 tot 600 m³/uur bereikt.



Figuur 9 Filtertesten ten behoeve van down-draft, links 'groot' filter kool + F7 debiet 618 m³/uur, rechts 'klein' filter kool + F7 debiet 510 m³/uur.

2.2 Validatiemetingen praktijkproef filters

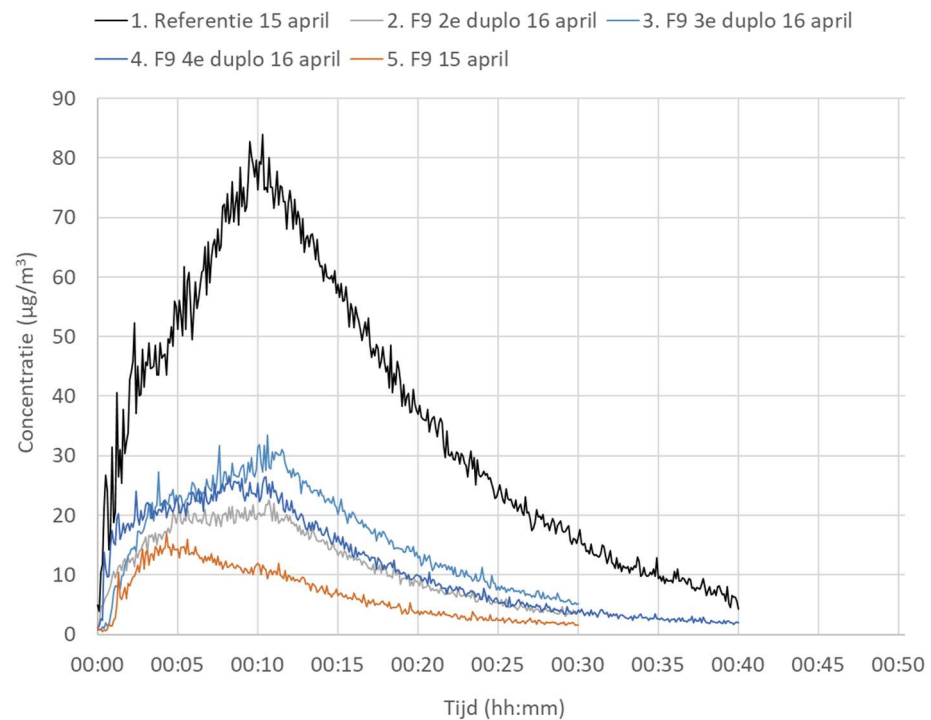
2.2.1 Validatie metingen

Twee recirculatiekappen zijn in twee huurwoningen van Eigen Haard gedurende enkele maanden getest. Het betrof recent gerenoveerde huurwoningen waarin ook de ventilatie is aangepast. Om deze reden is deze beproeving gecombineerd met de monitoring van het effect van concepten voor ventilatie. Dit praktijkonderzoek is in Hoofdstuk 4 “Energiezuinige renovatieconcepten inclusief kookafzuiging” beschreven.

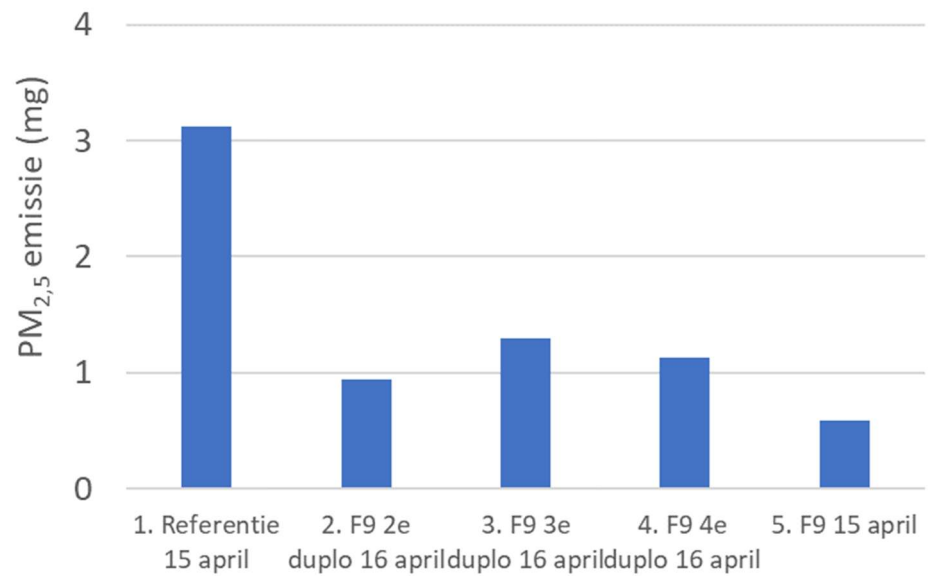
Na afloop van de pilot zoals beschreven in H3 zijn in het laboratorium metingen verricht aan de in de twee woningen gebruikte filters.

Het in de pilot gebruikte F9 filter blijkt gemiddeld voor een $PM_{2.5}$ reductie van 63% te zorgen ten opzichte van de gemiddelde referentie van 2.9 mg. De range is hierbij 53 tot 80%, zie Figuur 10 en Figuur 11. Dit is lager dan de 91% reductie van een ongebruikt filter.

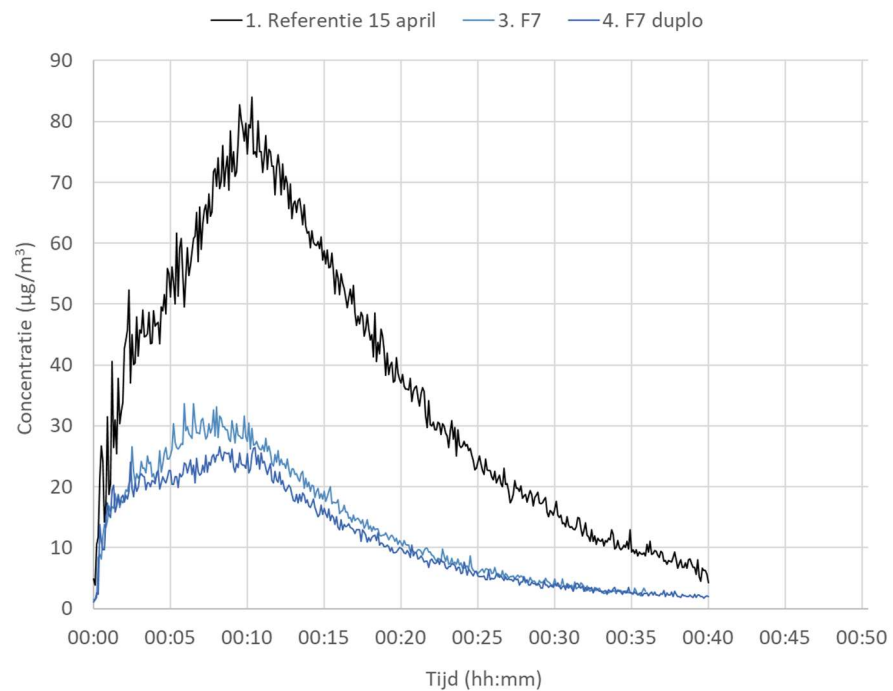
Het in de pilot gebruikte F7 filter blijkt gemiddeld voor een $PM_{2.5}$ reductie van 58% te zorgen. De range is hierbij 54 tot 61%, zie Figuur 12 en Figuur 13. Dit is lager dan de 73% reductie van een ongebruikt filter.



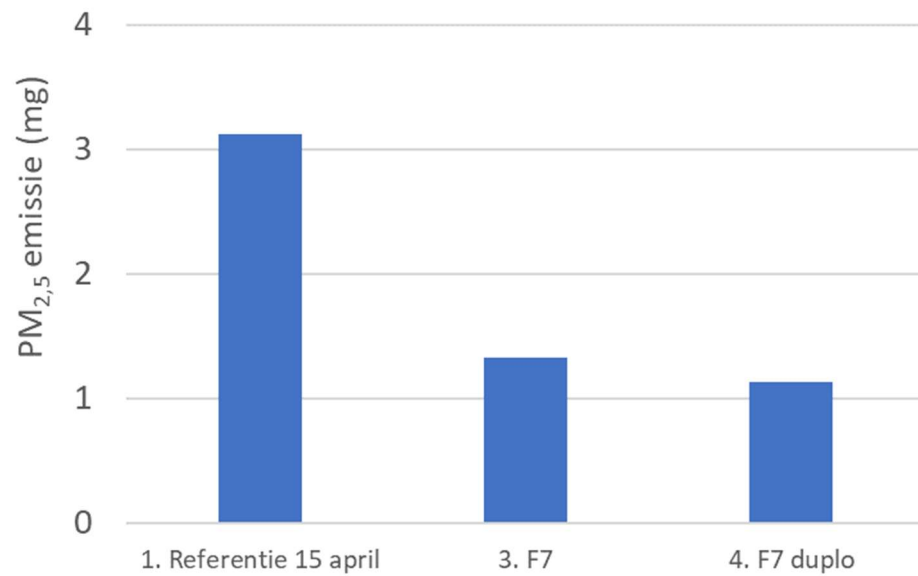
Figuur 10 Verloop van de $PM_{2.5}$ concentratie in de tijd voor de metingen in stand 2 van de afzuigkap met het F9 filter wat in de pilot is gebruikt. De referentie is de afzuigkap in dezelfde stand maar dan zonder filter.



Figuur 11 Overzicht van de fijnstofemissies met en zonder (referentie) F9 filter wat in de pilot is gebruikt, berekend op basis van de data in Figuur 10.



Figuur 12 Verloop van de PM_{2,5} concentratie in de tijd voor de metingen in stand 2 van de afzuigkap met het F7 filter wat in de pilot is gebruikt. De referentie is de afzuigkap in dezelfde stand maar dan zonder filter.



Figuur 13 Overzicht van de fijnstofemissies met F7 filter wat in de pilot is gebruikt en zonder filter (referentie), berekend op basis van de data in Figuur 12.

2.3 Filterspecificaties en aanbevelingen voor nader onderzoek

Conclusies

- De filterefficiëntie stijgt met toenemende filterkwaliteit van F7 naar E12.
- Een aandachtspunt is dat de filtertesten voor de verschillende formaten filters bij dezelfde filterklasse sterk wisselende uitkomsten laten zien. Met name de prestaties van de platte F9 filters zijn opvallend laag.
- De grote filters voor down-draft en plafond units met kool hebben een hogere afvangstefficiëntie. Mogelijk is hier de luchtverdeling beter en de superficiële luchtsnelheid lager.

Aanbevelingen

- Onderzoek naar het effect van superficiële snelheid op de filterefficiëntie.
- Het blijkt dat de hoeveelheid vochtige en vette dampen bij het dagelijkse koken de statische werking negatief beïnvloedt. Om deze reden zal onderzoek worden verricht naar Nano filtermateriaal: zeer lage drukval, een zeer goede filterende werking, en geen last van beïnvloeding door hoge concentraties kookdampen.

2.4 Energieanalyse

Voor deze energieanalyse is het uitgangspunt dat de blootstelling aan fijnstof door koken bij toepassing van een recirculatie schouwafzuigkap vergelijkbaar is met een referentiesituatie (directe afvoer naar buiten met een schouwafzuigkap) die aan de WHO-advieswaarde voor PM_{2.5} van 10 µg/m³ jaargemiddeld voldoet.

Bij typisch kookgedrag is dan voor deze referentiesituatie tijdens het koken een afzuigdebiet van 300 m³/uur noodzakelijk. Zie voor meer achtergronden de TKI VentKook rapportage. Aangenomen wordt dat de afzuigkap 1 uur per dag in bedrijf is³. Op basis van een graaddagen analyse is in Bijlage A het additionele energiegebruik voor verwarming voor drie typische woningen met verschillende isolatiegraden ingeschat. Tabel 2-2 geeft hiervan een samenvatting.

Tabel 2-2 Inschatting thermisch energieverlies ten gevolge van kookafzuiging met directe afvoer naar buiten voor 3 typische woningen

	Nieuwbouw (> 2000)	Bestaand 1960-2000	Bestaand <1960
Energieverlies [MJ/jaar]	1164	1516	1785
[kWh-th/jr]	323	421	496
Warmtepomp COP=3 [kWh]	108	140	165
HR ketel [m ³ gas]	33	43	51

Aangenomen wordt dat het elektrisch energiegebruik voor de verlichting en de ventilator van een recirculatieafzuigkap en een afzuigkap met afvoer naar buiten vergelijkbaar zijn. Indien de recirculatiekap de in het PvE vereiste 84% zou afvangen dan zou Tabel 2-2 de maximale energiebesparing van een recirculatiekap aangeven. Echter, op basis van de laboratoriummetingen volgt dat met een F9 filter wat in de pilot is gebruikt de gemiddelde PM_{2.5} reductie 63% bedraagt en met het F7 filter 58%. Dit is lager dan de vereiste 84% zoals aangegeven in het PvE. Hierdoor is na het koken additionele ventilatie noodzakelijk om dezelfde luchtkwaliteit te bereiken.

Bij de referentie zonder afzuigkap, Figuur 6 rechts, wordt 3,7 mg PM_{2.5} naar de keuken geëmitteerd. Bij aannahme van 95% reductie bij afvoer naar buiten blijft daar 0,2 mg van over. Bij gebruik van de recirculatieafzuigkap met F7 of F9 filter ontsnapt circa 1 mg naar de keuken, zie Figuur 11 en Figuur 13. In een typische woonkamer/keuken met een volume van 100 m³ neemt de concentratie dan toe met 1000/100 = 10 µg/m³. De concentratie kan na het koken worden verlaagd naar de begin concentratie voor het koken door het keukenraam enkele minuten open te zetten⁴. Deze verdunning door spui-ventilatie kost circa 200 m³ additionele ventilatie, waardoor de in Tabel 2-2aangegeven energetische besparing voor het merendeel teniet wordt gedaan.

Conclusie is dat bij een goedwerkende recirculatiekap in een goed geïsoleerde woning typisch een energiebesparing van 100 kWh besparing kan opleveren. Bij een lager filter afvangstrendement wordt de besparing al snel tenietgedaan door additionele spui-ventilatie om aan de WHO-advieswaarde voor PM_{2.5} te voldoen.

³ <https://www.energielabel.nl/apparaten/afzuigkap/>

⁴ Bouwfysica 1 2017 – Fijnstof bij het koken

3 WP 2 Down-draft kookafzuiging

3.1 Aanpassen experimentele opstelling

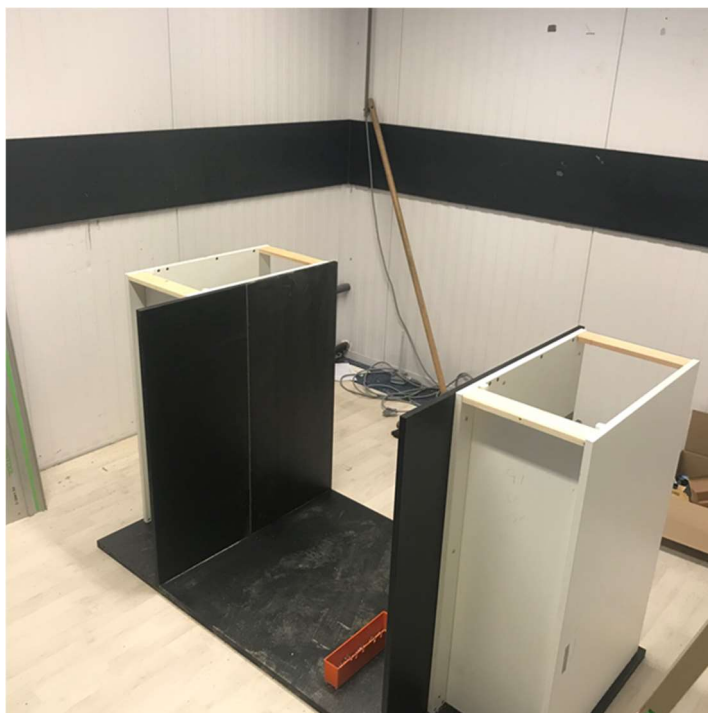
De bestaande testfaciliteit in het TNO MEC lab is in 2016 in het kader van het TKI toeslag project KEEK opgezet. Deze faciliteit bestaat uit twee identieke L-vormige keukens, waarbij in de ene keuken koken op gas en in de andere inductief koken kon worden gesimuleerd. TNO en Bribus hebben samen een ontwerp gemaakt voor de aanpassing van deze bestaande experimentele faciliteit.

Op basis van analyse van de inbouwmaten van een aantal gangbare down-draft modellen is een ontwerp gemaakt voor een keukeneiland waarin zo veel mogelijk types passen. Dit resulteerde in een keukeneiland met een werkblad van 150 cm breed en 100 cm diep met inbouw van: 840 x 500 mm.

Vervolgens zijn de bestaande proefkeukens die in 2016 in het kader van het TKI toeslag project KEEK in twee proefkamers van het MEC lab waren geplaatst verwijderd. In de ene kamer is door Bribus een keukenblokje geplaatst dat wat betreft geometrie voldoet aan de norm keuken van IEC 61591. Het keukenblokje is om die reden in het midden van de lange zijde geplaatst, zie Figuur 14. In de andere kamer is een keukeneiland geplaatst waarin down-draft kookapparatuur kan worden getest, zie Figuur 15.



Figuur 14 TNO test keuken voor recirculatie afzuigkappen volgens norm IEC 61591 op basis van inductie.



Figuur 15 Inbouw van keukeneiland in TNO testruimte voor down-draft.

3.2 Onderzoeken stromingspatroon en vangstefficiëntie down-draft

3.2.1 Ontwikkeling meetmethode

Bij het in VentKook ontwikkelde meetprotocol voor schouwafzuigkappen werden twee koekenpannen op 200 °C gehouden. Hiertoe werd de inductieplaat op vooraf bepaalde standen gezet. Dit is bij metingen aan down-draft toestellen lastig omdat hier bij elke meting aan een nieuw toestel ook de inductieplaat verandert en dan onbekend is welk vermogen bij een bepaalde stand correspondeert. Aangezien voor het behalen van een hoge vangstefficiëntie het koken van water meer kritisch is dan een hete koekenpan⁵ is besloten om het koken van water als uitgangspunt te nemen. ATAG heeft twee pannen aangeleverd die aan de onderzijde elektrisch worden verwarmd. Dit maakt ook een nauwkeurige vermogensmeting mogelijk. Analoog aan het in VentKook ontwikkelde meetprotocol is ook hier ervoor gekozen om CO₂ als tracergas te gebruiken. Het CO₂ wordt op identieke wijze gedoseerd via twee koperen buisjes die op de bodem van de pannen zijn geplaatst, zie Figuur 16. In deze figuur is ook de afvoerbuis zichtbaar die de kookdampen naar de ventilator afvoert met daarachter een meetsectie om het debiet te meten op basis van drukvalmeting over een gekalibreerde orifice.

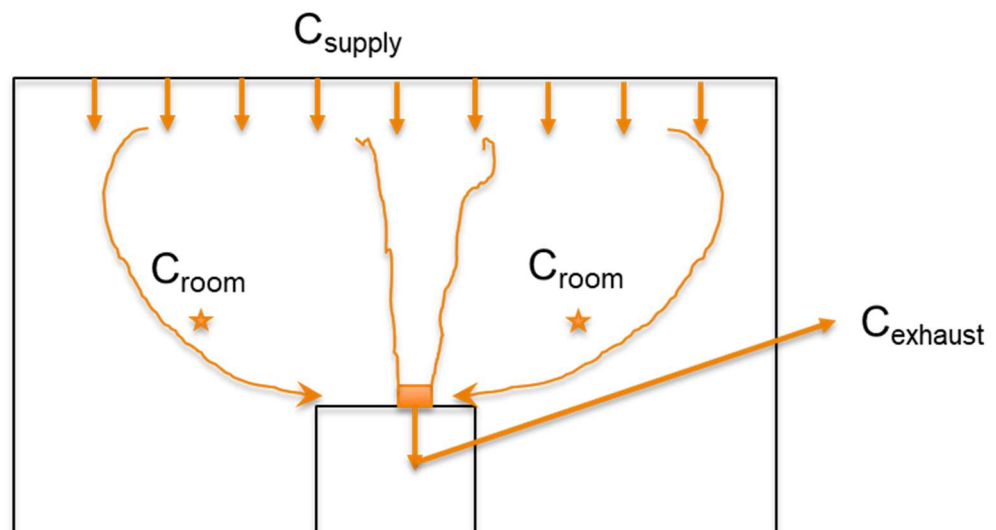
Bij 100% afzuiging wordt de waterdamp en de CO₂ direct via de down-draft afzuiging naar buiten de kamer afgevoerd. Er vindt hier dus geen recirculatie over een filter plaats. Indien de afzuiging te zwak is zal een pluim tussen de twee pannen naar het plafond opstijgen, zich over de ruimte verspreiden om vervolgens

⁵ Clark, J.D., Walker I.S., Rojas G., (2018). Measured pollutant removal performance of range-integrated downdraft exhaust kitchen ventilation device, Indoor Air conference

door de down-draft afgezogen te worden, zie Figuur 17. De CO₂ tracergas concentratie wordt tijdens een meting continu gemeten met SBA-5 CO₂ analyzers. Deze analyzers worden voor elke experiment automatisch gekalibreerd met CO₂ vrije lucht. Op verschillende hoogtes zijn temperatuursensoren aanwezig om een indruk te verkrijgen van de grootte van eventuele temperatuurverschillen.



Figuur 16 Down-draft toestel met afvoer naar buiten met twee elektrisch verwarmde pannen gevuld met water en CO₂ dosering. In de rechter figuur zijn de temperatuursensoren en de aanzuigslangen van de CO₂ sensoren zichtbaar



Figuur 17 Doorsnede van keukeneiland in de testruimte, met twee elektrisch verwarmde pannen met kokend water en CO₂ injectie, de verspreiding en de afvoer van de waterdamp pluim is schematisch in oranje aangegeven, de sterren markeren de aanzuigleidingen voor de CO₂ sensoren.

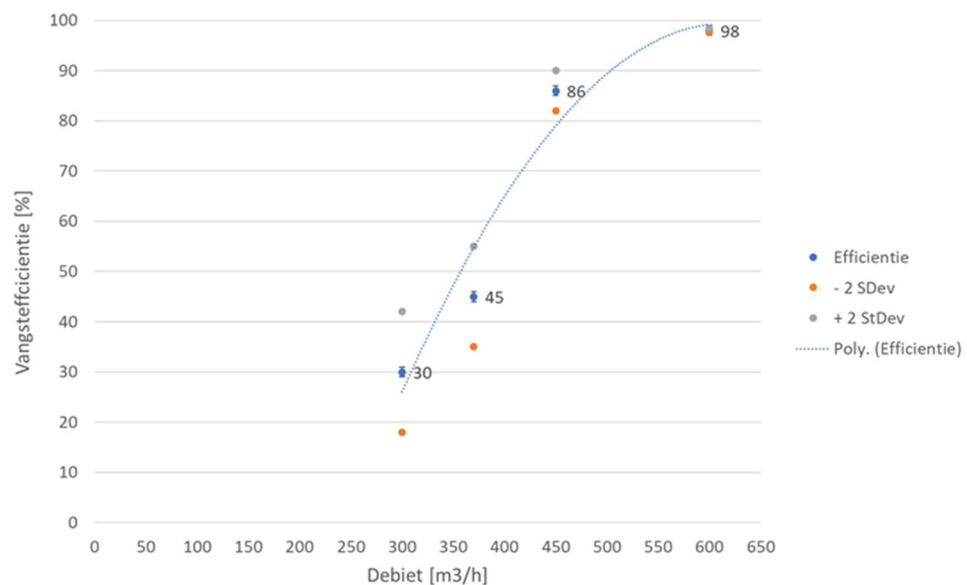
Naast de CO₂ concentratie in de ruimte (C_{room}) wordt ook de CO₂ concentratie van de toevoerlucht (C_{supply}) en van de afvoerlucht ($C_{exhaust}$) gemeten. Alle meetdata wordt met een meetinterval van 1 s ingelezen door een Agilent data acquisitiesysteem.

The afvangstefficiëntie wordt berekend met: $\eta = \left(\frac{C_{exhaust} - C_{room}}{C_{exhaust} - C_{supply}} \right) * 100\%$

3.2.2 Efficiëntie metingen down-draft

Om de ontwikkelde methode te testen en een gevoel te krijgen welke parameters zoals afzuigdebiet, pan positie, geometrie afzuigpunt, een rol spelen voor het behalen van een hoge vangstefficiëntie zijn 6 op de markt verkrijgbare down-drafts en één bij ATAG nog in ontwikkeling zijnde down-draft met elkaar vergeleken.

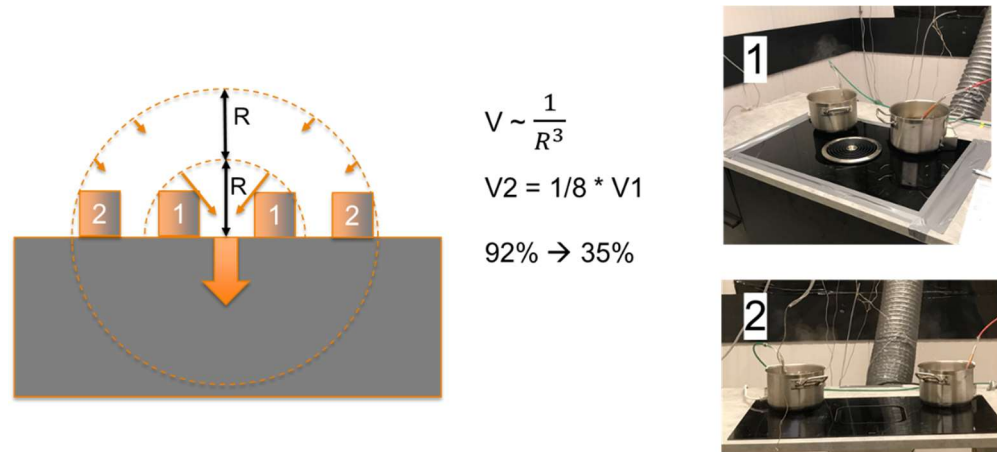
Om het aantal metingen te beperken is besloten om de down-drafts bij één afzuigdebiet met elkaar te vergelijken. Hierbij is het van belang om niet een te hoog of te laag debiet te kiezen. Bij een hoog debiet zal het afvangpercentage bijna 100% zijn en is het lastig om de prestatie van de down-drafts van elkaar te onderscheiden. Bij een te laag debiet is de nauwkeurigheid lager vanwege het chaotische stromingspatroon van ontsnappende warme kookdampen. Figuur 18 laat dit zien. Deze figuur suggereert dat een afzuigdebiet van 425 m³/uur een goed compromis is tussen onderscheidbaarheid en nauwkeurigheid.



Figuur 18 Effect afzuigdebiet op vangstefficiëntie en de nauwkeurigheid van de bepaling uitgedrukt in het 95% betrouwbaarheidsinterval (2 maal de standaarddeviatie).

Vervolgens zijn de zeven down-draft units bij een afzuigdebiet van 425 m³/uur in de opstelling getest. Uit de metingen blijkt dat indien een compact ontwerp wordt toegepast, waarin de pannen dichtbij de luchtafvoer staan de vangstefficiëntie bij hetzelfde debiet duidelijk hoger is.

De fysische verklaring hiervoor wordt in Figuur 19 gegeven op basis van een bolvormig afzuigfront waarbij de afzuigsnelheid met de derde macht afneemt met de afstand tot het afzuigpunt.

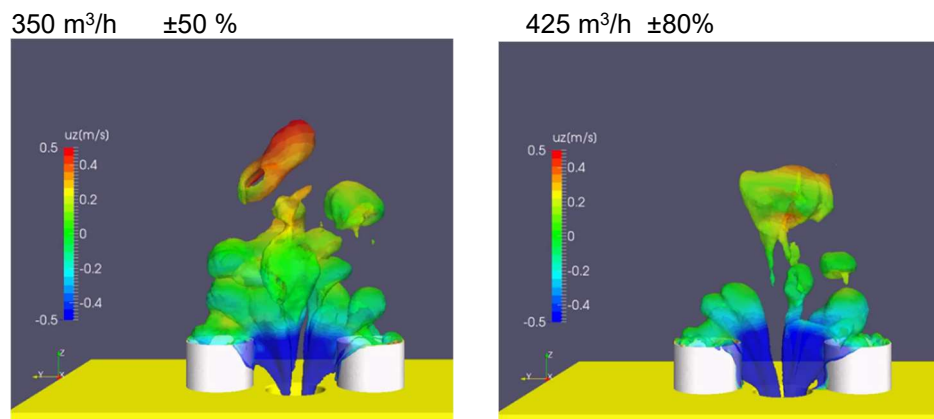


Figuur 19 Bolvormig afzuigfront zorgt ervoor dat bij compact ontwerp 1 de afzuigsnelheid v bij de pannen 8 maal zo hoog is ten opzichte van minder compact ontwerp 2.

Streefwaarde was om met down-draft minimaal een vangstefficiëntie van 80% te behalen. Deze waarde wordt bij een afzuigdebiet van 425 m³/uur ruimschoots behaald. Bij voldoende aandacht voor het kanaalontwerp, voldoende grote diameter en vermijden van scherpe bochten, is naar verwachting een dergelijk debiet in de praktijk zeker haalbaar.

3.3 CFD analyse down-draft

Het in TKI toeslag project KEEK ontwikkelde Computational Fluid Dynamics (CFD) model voor schouwkappen is uitgebreid naar down-draft systemen. Figuur 20 laat enkele typische simulatieresultaten zien. Vergeleken met de meetresultaten in paragraaf 3.2 worden de trends goed voorspeld. Kwantitatief is er een redelijke overeenkomst, de afwijking tussen het CFD model en alle goed gedocumenteerde meetresultaten bedraagt maximaal 10 procentpunt.



Figuur 20 Simulatie resultaten CFD-rekenmodel voor down-draft bij twee afzuigdebieten resulterend in 50 en 80% vangstefficiëntie.

3.4 Energieanalyse down-draft

Voor de energieanalyse is het uitgangspunt dat de restblootstelling aan fijnstof bij toepassing van een downdraft vergelijkbaar is met een referentiesituatie (directe afvoer naar buiten met een schouwafzuigkap) die aan de WHO-advieswaarde voor PM_{2.5} van 10 µg/m³ jaargemiddeld voldoet. Hierbij worden twee situaties beschouwd :

1. De down-draft met directe afvoer naar buiten;
2. De down-draft in recirculatie uitvoering.

Ad 1. Op basis van de meetresultaten is om de vereiste 80% vangstefficiëntie te verkrijgen voor de 'betere' geometrieën typisch een afzuigdebiet van 425 m³/uur noodzakelijk.

Aangenomen wordt dat de down-draft 1 uur per dag in bedrijf is⁶. Op basis van een graaddagen analyse is in Bijlage A het additionele energiegebruik voor verwarming voor drie typische woningen met verschillende isolatiegraden ingeschat. Tabel 3-1 geeft hiervan een samenvatting.

Tabel 3-1 Inschatting thermisch energieverlies ten gevolge van down-draft kookafzuiging met directe afvoer naar buiten voor 3 typische woningen

	Nieuwbouw (> 2000)	Bestaand 1960-2000	Bestaand <1960
Energieverlies [MJ/jaar]	1534	1987	2321
[kWh-th/jr]	426	552	645
Warmtepomp COP=3 [kWh]	142	184	215
HR ketel [m ³ gas]	44	57	66

Vergeleken met een schouwafzuigkap, zie Tabel 2-2, is het thermisch energieverlies circa 40% hoger.

Ad 2. Zie het PvE in paragraaf 2.1.1, om een PM_{2.5} vangstefficiëntie van circa 80% te bereiken dient de aerodynamische vangstefficiëntie 95% te bedragen en de efficiëntie van het fijnstoffilter minimaal 84%. Deze filterefficiëntie is haalbaar voor F7 filters met een ruim koolstoffilter voor plafond en down-draft units, zie de meetresultaten in Paragraaf 2.1.5.

Bij gebruik van een down-draft met een wat betreft afzuigefficiëntie 'goede' geometrie is dan voor deze referentiesituatie tijdens het koken een afzuigdebiet van 500 m³/uur noodzakelijk. Aangenomen wordt dat het elektrisch energiegebruik voor de ventilator in recirculatiestand vergelijkbaar is met die voor de schouwafzuigkap met afvoer naar buiten. Geconcludeerd kan worden dat door toepassing van een efficiënte down-draft met adequaat fijnstoffilter er dan ten opzichte van een woning met een wandschouwkap en afvoer naar buiten er in een nieuwbouwwoning een besparing van het thermisch energieverlies optreedt van circa 430 kWh per jaar. In een woning uitgerust met een warmtepomp komt dit overeen met 140 kWh elektrisch.

⁶ <https://www.energielabel.nl/apparaten/afzuigkap/>

4 WP3 Energiezuinige renovatieconcepten inclusief kookafzuiging

4.1 Conceptontwikkeling

Bij Eigen Haard is de afdeling Renovatie verantwoordelijk voor de planmatige renovatie. In overleg met deze afdeling en het Bedrijfsbureau is onderzocht welke renovatieprojecten geschikt zouden zijn voor een proef met ventilatie en kookafzuiging. Aangezien geen lopende projecten beschikbaar waren is gekozen voor een reeds afgerond renovatieproject. Voor dit project zal het aanwezige ventilatiesysteem en eventuele voorzieningen voor kookafzuiging worden geëvalueerd. Daarnaast zijn een drietal concepten opgesteld die voor dit project toepasbaar zouden zijn geweest.

Op 21 november 2019 zijn medewerkers van TNO en ATAG bij Eigen Haard langs geweest om een aantal gerenoveerde sociale huurwoningen te bekijken en twee geschikte woningen te selecteren voor een interventie met kookafzuiging. Het betreft woningen aan het Spaarndammer Plantsoen. De woningen zijn ontworpen door architect Michel de Klerk. De woningen zijn in opdracht van Eigen Haard volledig gerenoveerd en nageïsoleerd. Vanwege de monumentale status is hierbij de isolatie aan de binnenzijde aangebracht. Daarnaast zijn de woningen voorzien van balansventilatie en vloerverwarming.

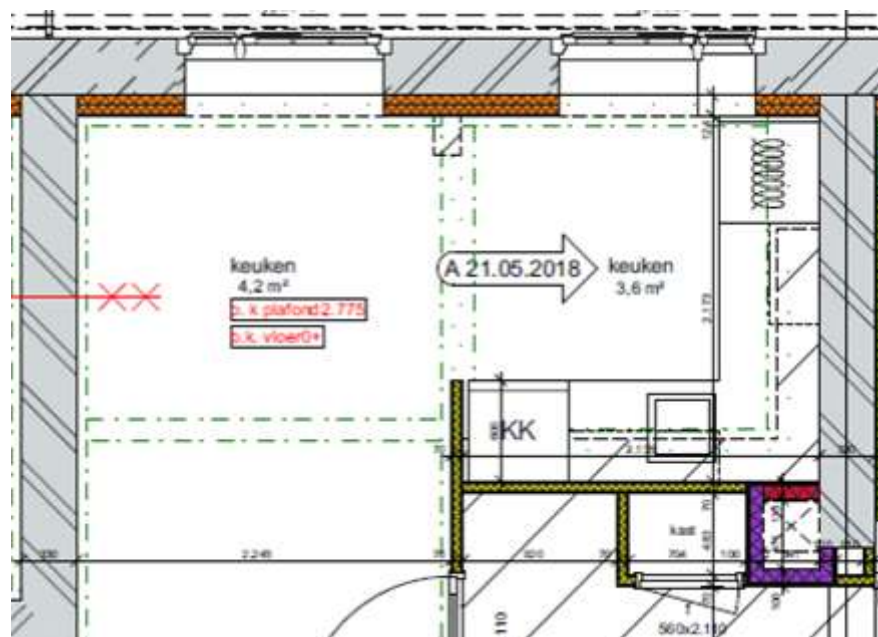


Figuur 21 Voorzijde huurwoningen Eigen Haard, Spaarndammer Plantsoen te Amsterdam.

Figuur 22 geeft de typische plattegrond voor de keuken. De keuken is met een perilex aansluiting in de hoek bij de gevel voorbereid op elektrisch koken. De

huurders hebben hiervan gebruik gemaakt door het aansluiten van een inductie kooktoestel.

Hier is ook op circa 1,8 m hoogte een wandstopcontact wat eventueel voor een recirculatieafzuigkap kan worden gebruikt (zie Figuur 25). In de keuken zijn twee afzuigventielen aangebracht. Deze zitten echter aan de andere kant van de keuken in de wand aan de zijde van de gang. Indien de huurder een motorloze afzuigkap zou willen plaatsen dan moet er een kanaal met een koof boven langs de bovenkastjes worden gemaakt. Plaatsing van een motorloze afzuigkap is hierdoor niet eenvoudig. Geconcludeerd kan worden dat in de woningen tijdens de renovatie geen speciale voorzieningen voor adequate kookafzuiging zijn aangebracht. Dit zou wel verstandig zijn geweest, door de na-isolatie zijn de woningen veel luchtdichter geworden. Hierdoor kunnen kookdampen langer blijven hangen. Hierna zullen drie concepten worden beschreven die in deze situatie toepasbaar zouden zijn.



Figuur 22 Plattegrond van appartementen na renovatie. De isolatie is aan de binnenzijde aangebracht van de buitengevel.

Concepten voor kookafzuiging

1. Geïsoleerde afvoer direct naar buiten

Meest eenvoudig voor de huurder zou zijn geweest als er naast de perilex aansluiting een afsluitbare afvoervoorziening in de gevel zou zijn aangebracht. De bewoner kan hierop zijn afzuigkap aansluiten. Om warmteverlies door lekstromen te voorkomen als de afzuigkap uit staat zijn hiervoor momenteel speciale luchtdichte voorzieningen beschikbaar. Naber levert de Thermobox⁷, dit is een drievoudige vlinderklep die in de doorvoer wordt geplaatst. Door magneten gaan de kleppen pas open als de afzuigkap enige druk (65 Pa) opbouwt. Door het drievoudige klepsysteem ontstaan twee luchtkamers, deze zorgen voor thermische isolatie in de afvoerbuïs met een U-waarde van 2,2 W/m²K. Een alternatief hiervoor is de Berbel

⁷ <https://www.naber.de/nl-thermobox-150-s13027/>

muurdoorvoer⁸, deze wordt elektrisch geopend/gesloten indien de afzuigkap aan/uit wordt gezet. De U-waarde in gesloten toestand is 0,95 W/m²K. Nadeel van afvoer via de gevel is dat kookluchtjes bij (bovengelegen) burens terech kunnen komen. Dit kan met name in de zomer, wanneer mensen op hun balkon zitten tot geuroverlast leiden. Een ander aandachtspunt is dat er voldoende luchttoevoer dient te zijn om onderdruk in de luchtdichte woning te voorkomen. Voor een deel kan dit worden ingevuld omdat het balansventilatiesysteem minder zal afzuigen. Daarnaast is het van belang om luchttoevoer te realiseren. In woningen met balansventilatie ontbreken ventilatieroosters en vaak ook bovenraampjes. Luchttoevoer door een raam in de keuken open te zetten heeft vaak een negatief effect op de afzuigefficiëntie. In veel gevallen worden de kookdampen door de tochtstroom ten gevolge van een open raam van onder de afzuigkap weggeblazen. In het stookseizoen zal dit veelal ook tocht veroorzaken. Bij voorkeur wordt de 'make-up' lucht dan ook elders in de woning toegevoerd, bijvoorbeeld in de slaapkamers. Naber levert een toevoeropening die automatisch door de afzuigkap wordt opengestuurd, de Compair Bixo Balance. Dit systeem bestaat uit een afvoerbuis die op de afzuigkap wordt aangesloten en één of meer toevoerbuisen die op basis van de na inschakeling van de afzuigkap in de woning ontstane onderdruk lucht toevoeren. Met een speciaal mechanisme kunnen de buizen worden gesloten. In gesloten toestand is de thermische isolatie van elke buis 0,8 W/(m²K). Een aandachtspunt is dat de toevoercapaciteit beperkt is. Om een te grote onderdruk in de woning te voorkomen zijn voor een toevoerdebiet van 300 m³/uur vier van deze ronde 150 mm diameter buizen noodzakelijk.

2. Motorloze afzuigkap aangesloten op balansventilatiesysteem

Deze oplossing met 300 m³/uur afzuigcapaciteit op het afzuigventiel in de keuken is door TNO en ATAG in het TKI project KookVent⁹ in de NeroZero woning ontwikkeld en gedemonstreerd. Op dit ventiel kan een speciale motorloze afzuigkap worden aangesloten met een lage interne weerstand. Zehnder levert een vergelijkbaar systeem. Voordelen naast de automatische toevoer van make-up lucht zijn de afwezigheid van geluid omdat de ventilator niet in de keuken staat. Daarnaast is het in het stookseizoen een voordeel dat uit de kooklucht de voelbare en ook de latente warmte wordt teruggewonnen. Voordeel is ook dat de kookdampen naar het dak worden afgevoerd. Dit is voor gestapelde bouw echter ook een nadeel. Het vereist grotere leidingdiameters om voldoende toe- en afvoer mogelijk te maken. Dit dient in het ontwerp te worden geïntegreerd. Vanwege de afmetingen zal een dergelijk kanaalsysteem niet in alle bestaande gevallen toepasbaar zijn en/of ruime afwerkboven vereisen.

3. Hybride systeem

In een hybride systeem wordt afvoer via het ventilatiesysteem gecombineerd met de techniek van een recirculatieafzuigkap. De afzuigkap dient hiertoe met het ventilatiesysteem te worden verbonden. In een lage stand zuigt de afzuigkap motorloos af via het ventilatiesysteem. In een hoge stand schakelt een interne motor bij. De lucht die dan door de ventilator wordt afgezogen wordt via een fijnstof-

⁸ <https://www.berbel-afzuigkappen.nl/afzuigkappen/accessoires/afvoerlucht-accessoires/muurdoorvoer/>

⁹ <https://projecten.topsectorenergie.nl/storage/app/uploads/public/5c8/683/2e9/5c86832e9f0d8059461253.pdf>

en geurfilter gerecirculeerd en teruggebracht in de keuken. Een dergelijk hybride systeem is ontwikkeld door ATAG, de Duo Logic HR afzuigkap, zie Figuur 23.



Figuur 23 Voorbeeld van een hybride systeem, de ATAG Duo Logic HR afzuigkap waarin een fijnstoffilter is geïntegreerd.

Deze concepten voor kookafzuiging zijn samen met leveranciers van afzuigkappen en ventilatiesystemen en een drietal grote aannemers ontwikkeld en worden in een publicatie van het LenteAkkoord verder verspreid.

Concepten voor beperking elektrische piekbelasting

Bij toepassing van elektrische kookplaten is een inductiekookplaat het zuinigst. Volgens Milieucentraal¹⁰ gebruikt een inductiekookplaat 175 kWh per jaar. Een keramische kookplaat verbruikt 30% meer, 225 kWh per jaar. Een weerstands kookplaat is het minst zuinig met 260 kWh per jaar.

De meeste inductieplaten worden als twee fase toestel verkocht. Veelal is dan een aanpassing in de meterkast noodzakelijk. Het piekvermogen bedraagt dan 7,6 kW. ATAG levert via het merk Pelgrim ook inductiekookplaten¹¹ die zowel op 1 als op 2 fase aangesloten kunnen worden. Bij aansluiting op 1 fase (maximaal 3,6 kW) kunnen alle 4 de kookzones tegelijkertijd worden gebruikt omdat met een slim powermanagent systeem het vermogen tot maximaal stand 8 wordt beperkt.

¹⁰ <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/apparaten-en-verlichting/huishoudelijke-apparaten/inductie-kookplaat/#voordelen>

¹¹ <https://www.pelgrim.nl/collectie/ik4064m/#specificaties>

4.2 Monitoring renovatieconcepten

Om het effect van de filterkwaliteit in een recirculatieafzuigkap op de fijnstof concentratie te onderzoeken zijn bij de monitoring twee appartementen betrokken. In het ene appartement is een F7 fijnstof filter beproefd en in het andere appartement een F9 filter. De monitoringsperiode liep van 4 december 2019 (21 november voor F9 Filter) tot en met 26 maart 2020.

4.2.1 Appartement 1^e etage met F7 filter

Het betrof een vierkamer appartement bewoond door 1 persoon. Het vloeroppervlak van de woonkamer/open keuken bedraagt circa 27 m². Bij aannahme van een hoogte van 2,6 m bedraagt het ruimtevolumen 70 m³. Wekelijks logeert een kleinkind. Er wordt dagelijks gekookt. Op 4 december 2019 is een Airvisual fijnstof meetapparaat in de keuken geplaatst. Op 16 december is de afzuigkap met F7 filter in de filterbox bovenin de schouw geplaatst, zie Figuur 24 en Figuur 25.



Figuur 24 Inductiekookplaat met daarboven recirculatieafzuigkap ATAG WS602112IM, rechtsboven is het Airvisual meetapparaat nog net zichtbaar.



Figuur 25 Links koolfilter direct boven vetfilter, rechts aansluiting filterbox met F7 filter op afzuigkap

Indicatief is op 1 m afstand met een Iphone 7 middels een app (SPL meter) het geluidsniveau gemeten en met een Acin Flowfinder is het bijbehorende afzuigdebiet gemeten, zie Tabel 4-1. Daarnaast is ook het luchtdebiet van de toe- en afvoerventielen van het ventilatiesysteem gemeten, zie Tabel 4-2. De bewoner gaf aan dat het ventilatiesysteem vrijwel altijd in stand 1 staat.

Tabel 4-1 15 Januari 2020, geluidsniveau en debiet recirculatieafzuigkap met F7 filter in m³/uur bij verschillende standen.

Stand	Indicatief geluid [dB]	Debiet [m ³ /uur]
1	63,7	162
2	68	196
3	70,1	218
B(oost)	72,4	249

Tabel 4-2 Ventilatie debieten in m³/uur bij verschillende ventilatiestanden (SL3 is de hoofdslaapkamer).

stand	keuken	woonkamer	SL1	SL2	SL3	toilet	badkamer
0	26	18					
1	64	41	19	21	23	15	31
2	96	66					
3	109	76	43	36	36	28	63

Totale toevoer in hoogstand: 191 m³/uur

Totale afvoer in hoogstand: 200 m³/uur

Aan het eind van de monitoringsperiode op 26 maart 2020 is het F7 filter opgehaald en vervangen door een plat F9 filter wat onderin de afzuigkap direct boven het vetfilter is geplaatst, zie Figuur 27. Om dit mogelijk te maken is het koolfilter zoals getoond in Figuur 25 verwijderd. Vervolgens is nogmaals indicatief het geluidsniveau gemeten. Helaas was het niet mogelijk het afzuigdebiet te meten omdat de afzuigkap onvoldoende stevig was bevestigd en het risico bestond dat de afzuigkap van de muur zou kunnen vallen.

Het geluidsniveau bedroeg in stand 1, 2, 3 en boost respectievelijk 59,5, 64,4, 68,4 en 72,4 dB. In de lagere standen is het geluidsniveau dus duidelijk ten opzichte van Tabel 4-1 afgenomen. Dit kan worden verklaard door een lagere luchtweerstand omdat het koolfilter is verwijderd.

4.2.2 Appartement begane grond met F9 filter

Dit driekamer appartement is bewoond door twee personen. Het vloeroppervlak van de woonkamer/open keuken bedraagt 27 m². Bij aanname van een hoogte van 2,6 m bedraagt het ruimtevolumen 70 m³. Op 21 november 2019 is door TNO een Airvisual fijnstof meetapparaat geplaatst. Op 16 december is de afzuigkap geplaatst voorzien van een F7 filter in de filterbox boven in de schouw. Dit filter is op 19 december door de bewoner vervangen door een F9 filter.



Figuur 26 Inductiekookplaat met daarboven recirculatieafzuigkap ATAG WS602112IM, het Airvisual meetapparaat is op het bovenkastje geplaatst.

Indicatief is op 1 m afstand met een iPhone 7 middels de app SPL meter het geluidsniveau gemeten. Het luchtdebiet van de afzuigkap is met een Acin Flowfinder gemeten, zie Tabel 4-3. Vergeleken met het andere appartement is het geluidsniveau hoger en het luchtdebiet lager. Dit is te verklaren met de hogere filterkwaliteit die meer luchtweerstand met zich meebrengt.

Tabel 4-3 15 Januari 2020, geluidsniveau en debiet recirculatieafzuigkap met F9 filter in m³/uur bij verschillende standen.

Stand	Indicatief geluid [dB]	Debiet [m ³ /uur]
1	69	162
2	70,1	183
3	71,7	195
B(oost)	73,1	214

Het luchtdebiet van de toe- en afvoerventielen van het ventilatiesysteem is in Tabel 4-4 vermeld. Opvallend is dat het afzuigdebiet in de keuken in de hoogstand lager is dan vereist volgens het bouwbesluit (75 m³/uur).

Tabel 4-4 Ventilatie debieten in m³/uur bij verschillende ventilatiestanden (SL2 is de hoofslaapkamer).

stand	keuken	woonkamer	SL1	SL2	toilet	badkamer
0	16	29				
1	34	39				
2	48	66				
3	54	68	30	32	27	63

Totale toevoer in hoogstand: 130 m³/uur

Totale afvoer in hoogstand: 144 m³/uur

Op 26 maart 2020 is het F9 filter opgehaald en vervangen door een plat F9 filter wat onderin de afzuigkap direct boven het vetfilter is geplaatst op de plaats waar eerst een koolfilter zat, zie Figuur 27.



Figuur 27 Plat F9 filter wat op 26 maart aan het eind van de meetperiode is geplaatst in plaats van het koolfilter aan de onderzijde en het fijnstof filter aan de bovenzijde in de filterbox.

Vervolgens is indicatief het geluidniveau en het luchtdebiet gemeten, zie Tabel 4-5. Ook hier is in de lagere standen het geluidniveau duidelijk afgenomen. Dit kan worden verklaard door een lagere weerstand omdat ook hier het koolfilter is verwijderd.

Tabel 4-5 26 Maart 2020, geluidniveau en debiet recirculatieafzuigkap in m³/uur bij verschillende standen met het platte F9 filter.

Stand	Indicatief geluid [dB]	Debiet [m ³ /uur]
1	58	130
2	68	165
3	71	200
B(oost)	75	-

4.2.3 Resultaten praktijkproef en vergelijking met laboratoriummetingen

De in de pilot gebruikte filters zijn na afloop in het laboratorium getest, zie paragraaf 2.2. Deze metingen zijn zodanig uitgevoerd dat alle kookdampen door het filter passeerden. Tabel 4-6 laat zien dat de reductie percentages in de pilot veel lager zijn dan onder laboratoriumcondities.

De resultaten (niet getoond in dit openbare rapport) van de kleinschalig uitgevoerde praktijkproef suggereren dat het in WP1 ontwikkelde fijnstoffilter voor de recirculatieafzuigkap in de praktijk nog onvoldoende presteert. Hierbij dient te worden opgemerkt dat omdat de referentieperiode relatief kort was de emissiereductie in de pilot een relatief hoge onzekerheidsmarge kan hebben. De monitoring is later gestart en was hierdoor korter dan beoogd. De latere start is veroorzaakt omdat het langer duurde om een geschikt project te verkrijgen. De einddatum kon niet worden opgeschoven omdat de meting in het stookseizoen met de ramen dicht dient te worden uitgevoerd.

Bij het fijnstoffilter dient het filterrendement te worden verhoogd. Daarnaast moet een afzuigkap worden toegepast met voldoende afzuigdebiet rekening houdend met de verhoogde weerstand ten gevolge van het filter.

Tabel 4-6 Vergelijking emissiereductie [%] in pilot met de reductie onder laboratoriumcondities van de in de pilot gebruikte filters en met ongebruikte filters.

Filterkwaliteit	Pilot	Pilot filter in laboratorium	Nieuw filter in laboratorium
F7	20	58	73
F9	2	63	91

Mogelijke verklaringen voor het verschil tussen laboratorium en pilot zijn:

- Naast bakken en braden onder de afzuigkap kunnen er ook andere fijnstof bronnen in de woning zijn zoals cosmetica, brood roosteren etc. Op basis van de tijden waarop de pieken verschijnen lijkt deze echter met name kook gerelateerd en met name voor de avondmaaltijd.
- Het luchtdebiet van beide afzuigkappen in de verschillende standen is relatief laag, waarschijnlijk komt dit omdat de lucht tweemaal een filter passeert. Het koolfilter direct boven het vetfilter en het fijnstof/koolfilter bovenin de schouw. Het is de bedoeling om uiteindelijk het fijnstoffilter met het koolfilter direct boven het vetfilter te combineren. Hierdoor kan het fijnstof/koolfilter boven in de schouw vervallen. Naar verwachting zal hierdoor het afzuigdebiet toenemen.
- De bewoners gaven aan dat ze in verband met het geluid vooral hebben gekookt met de afzuigkap in stand 1. In de pilot was het afzuigdebiet hierdoor slechts 130 – 162 m³/uur. Daarnaast was de afzuigkap even breed als de kookplaat. Naar verwachting is hierdoor een significant deel, mogelijk zelfs de helft, van de kookdampen niet ingevangen. Dit in tegenstelling tot de laboratoriummetingen waarbij nagenoeg alle kookdampen worden ingevangen en door het filter worden geleid.

- De bewoners gaven aan tijdens de maaltijdbereiding de afzuigkap te gebruiken. Mogelijk is tijdens de bereiding van een aantal maaltijden in verband met het geluidsniveau de afzuigkap toch niet gebruikt.
- De referentiesituatie was vrij kort, 12 dagen, mogelijk heeft dit tot een onderschatting van emissie zonder afzuigkap geleid. Opvallend is echter wel dat de gemiddelde emissie in de referentieperiode uit de twee woningen goed met elkaar overeen komen.
- Tijdens koken komt vaak waterdamp vrij, mogelijk verlaagt dit de vangstefficiëntie van het elektrostatisch geladen filter.

4.2.4 Conclusies monitoring

- In beide woningen blijft, ondanks de bescheiden reductie van de kookafzuiging (zie hierna), de $PM_{2.5}$ concentratie onder de WHO-advieswaarde van $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Het F7 en het F9 filter laten slechts een bescheiden reductie van de kook emissies zien. Mogelijke oorzaken hiervoor zijn dat door het lage afzuigdebiet mogelijk een groot deel van de kookdampen niet door het filter werden ingevangen en mogelijk is in de praktijk het filterrendement ook lager door het effect van waterdamp.
- Omdat er in het geval van het F7 filter minder in de keuken/woonkamer werd geventileerd nam hierdoor zelfs de totale blootstelling aan fijnstof toe. In het geval van het F9 filter nam de blootstelling wel af. De reden hiervan is niet bekend.
- In de woning op de begane grond is het afzuigdebiet van de ventielen in de keuken te laag en voldoet niet aan het bouwbesluit minimum. Aanbevolen wordt om het ventilatiesysteem opnieuw in te regelen.

4.3 Ontwikkeling kookapparatuur als een service

4.3.1 Huidig afwegingskader voor kookapparatuur

Bij Eigen Haard is beleid ontwikkeld ten aanzien van de aanleg van elektrisch koken en vastgelegd in het interne memo 'beleidslijn elektrisch koken', 31 juli 2019.

Uitgangspunten voor de aanleg van elektrisch koken zijn hierin dat zowel:

- De CO₂ uitstoot daarmee niet stijgt;
- En de woning aardgasvrij of aardgasvrij-ready wordt;
- En de woonlasten van de huurder daardoor dalen.

Als bij elektrisch koken de gasaansluiting nog in de woning aanwezig blijft leidt dit tot een nadeel voor de huurder van circa 15 euro per jaar. Dit wordt veroorzaakt omdat elektriciteit per kWh duurder is dan gas. Als de gasaansluiting vervalt leidt dit tot ruim 200 euro voordeel per jaar op voor de huurder omdat het vastrecht en de netwerkkosten voor gas vervallen.

De woningbouwcorporatie neemt de kosten op zich voor aanpassen van meterkast, aanbrengen kabel en perilex wandcontactdoos en eventueel verwijderen van de kookgasleiding en gasmeter. Afhankelijk van de werkzaamheden variëren de investeringskosten tussen 300 en 2000 euro per woning.

De huurder is verantwoordelijk voor de aanschaf van een inductieplaat en eventueel een afzuigkap. In het verleden hebben woningbouwcorporaties om de benodigde 70% instemming voor renovatie te behalen huurders inductie kookplaat en pannenset cadeau gegeven. Op basis van de woningwet is dit niet toegestaan.

4.3.2 Kookapparatuur als service

Uitgaande van de drie concepten uit paragraaf 4.1 kunnen de volgende lease constructies worden opgezet.

1. Geïsoleerde afvoer naar buiten

Op deze door de woningbouwcorporatie aangelegde afvoer kan de huurder een afzuigkap met motor aanbrengen die bij ATAG wordt geleased. Toevoer dient bij voorkeur te worden gerealiseerd door het openzetten van een rooster of een raam in de slaapkamers en het realiseren van voldoende overstroom capaciteit naar de keuken.

2. Motorloze afzuigkap aangesloten op optimaal ontworpen WTW systeem

Aan te sluiten op het afzuigventiel in de keuken met een afvoercapaciteit van 300 m³/uur. Hiervoor kan de huurder de speciale motorloze ATAG afzuigkap ontwikkeld voor de NeroZero woning met lage interne weerstand leasen. Aandachtspunt is dat het afzuigpunt zich boven de perilex aansluiting bevindt.

3. Hybride systeem

Indien het afvoerventiel een lagere capaciteit heeft (bij voorkeur minimaal 150 m³/uur) kan de Duo Logic HR worden geleased.

Naast de afzuigkappen kan de huurder indien gewenst ook de inductiekookplaat en oven leasen.

Cooking as a Service

Vanuit de circulaire ambitie is er binnen dit project gekeken naar wat de mogelijkheden zijn van het implementeren van circulaire businessmodellen. Dit gaat enerzijds over een prestatieverplichting naar de eindgebruiker en anderzijds een lease concept vanwege het versneld mogelijk maken van de energietransitie in sociale woningbouw.

Product Service Concept

Vanuit de producent worden product service concepten aangeboden voor de keukenapparatuur aan woningcorporaties. Daarbij wordt een meerjarig contract afgesloten met de woningcorporatie waarbij de maandelijkse kosten dan weer kunnen worden doorbelast aan de bewoner. Het product service concept bestaat eruit dat de woningcorporatie en de eindgebruiker de beschikking krijgen over een energie-efficiënte inductiekookplaat en een goed functionerende afzuigkap (momenteel is dit vaak niet het geval en zorgt dit voor een slecht binnenklimaat met bijvoorbeeld fijnstof). Dit geeft de mogelijkheid dat er aardgasloos en energie-efficiënt gekookt kan worden. Tevens zorgt dit voor een betere luchtkwaliteit in de woning. Gedurende de contractperiode is de producent verantwoordelijk voor een goede werking van de producten. De service bestaat eruit dat bij tekortkomingen dit vakkundig en snel weer wordt opgelost. Ook zal bij iedere mutatie van de woning door een medewerker van de producent de apparatuur nagelopen worden en wordt deze gecontroleerd op juiste werking.

Prestatiecontract

De juiste werking van de afzuigkap zal gekoppeld worden aan de kwaliteit van de binnenlucht. Uitgangspunt van het prestatiecontract is dat door gebruik te maken van de kookafzuiging en normaal gebruikersgedrag voldaan wordt aan de WHO advieswaarde van $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ jaargemiddeld.

De luchtkwaliteit zal met een fijnstofsensoren continu gemeten worden gedurende het kookproces en de periode daarna. Tijdens het koken dient de afzuigkap in werking te zijn. De meetdata wordt gecombineerd met buitenlucht meetdata van www.luchtmeet.nl. Vervolgens kan op basis van algoritmen de afzuigkap bijgestuurd worden. Tevens kan hieruit afgeleid worden dat de filters gereinigd of vervangen moeten worden. Dit zal dan teruggekoppeld worden middels een signaal aan de gebruiker.

De continue monitoring kan naast fijnstof ook voor het monitoren van het ventilatiesysteem worden ingezet. De sensor dient hiervoor dan ook CO_2 te meten. Op basis van de meetwaarden kan de bewoner de 3-standen knop voor het ventilatiesysteem gericht bedienen. Mogelijk is hierbij ook de inzet van een energie- en binnenmilieu buurtcoach van belang.

De sensor kan los staan van de afzuigkap. In dat geval zou de monitoring verricht kunnen worden door partijen als Uhoo. Deze maken gebruik van sensoren die de bewoner kan verbinden met zijn of haar wifi-systeem. Vervolgens kunnen de resultaten op een app op bijvoorbeeld een smart phone worden uitgelezen. Een andere optie zou integratie van de sensoren in de afzuigkap kunnen zijn.

5 Conclusies en mogelijkheden voor spin off en vervolgactiviteiten

5.1 Conclusies en aanbevelingen

Fijnstof filtering voor recirculatiekappen

Uit een kleinschalig uitgevoerde praktijkproef blijkt dat het fijnstoffilter voor de recirculatieafzuigkap nog onvoldoende presteert. Meest waarschijnlijke oorzaak is dat de hoeveelheid vochtige en vette dampen bij het dagelijkse koken de statische werking van het filter dusdanig negatief beïnvloedt. In de toekomst zullen zogenaamde nano filtermaterialen worden onderzocht.

Conclusie ten aanzien van energiebesparing op basis van een graaddagen analyse is dat bij een goedwerkende recirculatiekap in een goed geïsoleerde woning typisch een energiebesparing van 100 kWh elektrische besparing per jaar zou kunnen opleveren. Bij een lager filter fijnstof vangstrendement wordt de besparing al snel tenietgedaan door additionele spuiventilatie om aan de WHO-advieswaarde voor PM_{2.5} te voldoen.

Down-draft

Er is een robuuste experimentele bepalingsmethode ontwikkeld voor de vangstefficiëntie van down-draft kookafzuiging. Down-draft units met een 'compact' ontwerp, waarbij de pannen dichtbij de luchtafvoer staan, halen een vangstefficiëntie van meer dan 90%. Een unit met een luchttechnisch minder optimale geometrie haalde bij het zelfde afzuigdebiet een vangstefficiëntie van slechts 30%. De inzichten zijn gebruikt om met een Computational Fluid Dynamics (CFD) model de vangstefficiëntie van een bij ATAG in ontwikkeling zijnde prototype down-draft verder te verbeteren. De conclusie ten aanzien van energiebesparing is dat door toepassing van een efficiënte down-draft met adequaat fijnstoffilter er ten opzichte van een woning met een wandschouwkap en afvoer naar buiten een energiebesparing optreedt van circa 430 kWh per jaar. In een woning uitgerust met een warmtepomp komt dit overeen met 140 kWh elektrisch.

Concepten voor kookafzuiging

Bij renovatie wordt kookafzuiging nog onvoldoende meegenomen. Dit bleek ook uit een gedetailleerde analyse van een renovatieproject bij Eigen Haard. Momenteel wordt nog volstaan met de eisen uit het Bouwbesluit, waarin kookafzuiging nog onvoldoende is meegenomen. Componenten zijn momenteel wel beschikbaar echter het ontbreekt momenteel aan beproefde praktijkvoorbeelden.

Vanuit de circulaire ambitie is er binnen dit project gekeken naar wat de mogelijkheden zijn van het implementeren van circulaire businessmodellen. Dit gaat enerzijds over een prestatieverplichting naar de eindgebruiker en anderzijds een lease concept vanwege het versneld mogelijk maken van de energietransitie in sociale woningbouw. Hierbij is monitoring van belang om de prestatie te borgen. Deze monitoring zou ook kunnen worden ingezet voor het borgen van de kwaliteit en een goed gebruik van het ventilatiesysteem.

5.2 Mogelijkheden voor spin off en vervolgactiviteiten

De in WP 3.1 ontwikkelde concepten voor ventilatie met geïntegreerde kookafzuiging zijn ook ingebracht in twee werksessies van de NEPROM themagroep *Betere Kookafzuiging* om concepten voor nieuwbouw te ontwikkelen. Samen met leveranciers van afzuigkappen en leveranciers van ventilatiesystemen en een drietal grote aannemers is de brochure *Betere kookafzuiging in nieuwbouwwoningen* ontwikkeld. Deze brochure is via de LenteAkkoord website beschikbaar: <https://www.lente-akkoord.nl/betere-kookafzuiging-in-nieuwbouwwoningen/>.

In deze brochure worden diverse concepten met elkaar vergeleken op de aspecten Luchtkwaliteit, Energieverlies en Comfort. Vrijwel alle concepten hebben nog zwakke punten die nader onderzoek behoeven. Een belangrijk probleem blijkt dat het nog onduidelijk is hoe tochtvrij grote luchthoeveelheden toe te voeren bij het in gebruik zijn van een afzuigkap in een luchtdichte woning. Getracht wordt om met de marktpartijen een demonstratieproject op te zetten om deze vragen te beantwoorden.

5.3 PR en wijze van kennisverspreiding

Test method for measuring pollutant removal of induction cooktop with integrated downdraft, ISIAQ-ICES conferentie proceedings Kaunas, Litouwen, augustus 2019.

<https://www.atag.nl/innovaties/fijnstof>

Op deze webpagina introduceert ATAG het fijnstofprobleem en de in dit project ontwikkelde oplossing voor recirculatie afzuigkappen.

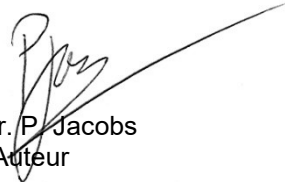
6 Handtekening

Delft, 2 november 2020

TNO



Ir. A.C. Westerlaken
Research Manager



ir. P. Jacobs
Auteur

A Energieverlies door kookafzuiging

Paragraaf 2.3 schouw recirculatiekap

	KNMI maandgemiddelde temperatuur	afvoer temperatuur	te berekenen periode 'stookseizoen'		temperatuurverschil		rekendagen	graaddagen		
			Nieuwbouw (> 2000) < 8 C	Bestaand 1960-2000 < 12 C	Bestaand <1960 < 16	Nieuwbouw <1960		Bestaand <1960	Nieuwbouw	Bestaand <1960
januari	3.1	26	s	s	23	23	31	711	711	
februari	3.3	26	s	s	23	23	28	636	636	
maart	6.2	26	s	s	20	20	31	614	614	
april	9.2	26	s	s	17	17	30	0	505	
mei	13.1	26	s	s		13	31	0	401	
juni	15.6	26					30	0	0	
juli	17.9	26					31	0	0	
augustus	17.5	26					31	0	0	
september	14.5	26		s		12	30	0	346	
oktober	10.7	26	s	s	15	15	31	0	475	
november	6.7	26	s	s	19	19	30	580	580	
december	3.7	26	s	s	22	22	31	692	692	
uren/dag debiet	1 300 m ³ /h						graaddagen/jr ΔT gem per dag	3233 8.9	4212 11.5	4958 13.6
							energieverlies	1164	1516	1785 MJ/jr
							WP COP = 3	323	421	496 kWh-th/jr
							HRketel	108	140	165 kWh/jr
								33	43	51 m ³ /jr

Paragraaf 3.4 down-draft in recirculatie uitvoering

	KNMI maandgemiddelde temperatuur	afvoer temperatuur	te berekenen periode 'stookseizoen'		temperatuurverschil		rekendagen		graaddagen			
			Nieuwbouw (>2000) <8 C	Bestaand 1960-2000 <12 C	Bestaand <1960 <16	Nieuwbouw Bestaand <1960	Bestaand <1960	Nieuwbouw Bestaand	Bestaand <1960			
januari	3.1	25	s	s	s	21	21	21	31	664	664	664
februari	3.3	25	s	s	s	21	21	21	28	594	594	594
maart	6.2	25	s	s	s	18	18	18	31	568	568	568
april	9.2	25	s	s	s	15	15	15	30	0	460	460
mei	13.1	25	s	s	s	11	11	11	31	0	0	354
juni	15.6	25	s	s	s				30	0	0	0
juli	17.9	25	s	s	s				31	0	0	0
augustus	17.5	25	s	s	s				31	0	0	0
september	14.5	25	s	s	s	10	10	10	30	0	0	301
oktober	10.7	25	s	s	s	14	14	14	31	0	429	429
november	6.7	25	s	s	s	18	18	18	30	535	535	535
december	3.7	25	s	s	s	21	21	21	31	646	646	646
uren/dag	1								graaddagen/jr	3008	3896	4551
debiet	425 m ³ /h								ΔT gem per dag	8.2	10.7	12.5
									energieverlies	1534	1987	2321 MJ/jr
									WP COP = 3	426	552	645 kWh-th/jr
									HR ketel	142	184	215 kWh/jr
										44	57	66 m ³ /jr