Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport

Gevolgen van houtstook voor het binnenmilieu: een verkenning van de literatuur

RIVM Rapport 2018-0170

E.A.M. Mathijssen | R.P. Bogers | K.J. Rijs

Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport

Gevolgen van houtstook voor het binnenmilieu: een verkenning van de literatuur

RIVM Rapport 2018-0170

Colofon

© RIVM 2019
Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave.

DOI 10.21945/RIVM-2018-0170

E.A.M. Mathijssen (auteur), RIVM
R.P. Bogers (auteur), RIVM
K.J. Rijs (auteur), RIVM

Contact:
Rik Bogers
Milieu en Veiligheid\Centrum Duurzaamheid, Milieu en Gezondheid\Milieukwaliteit en Gezondheid
rik.bogers@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het Ministerie van Infractructuur en Waterstaat, in het kader van Houtstook

Dit is een uitgave van:
Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
Nederland
www.rivm.nl

Publiekssamenvatting

Gevolgen van houtstook voor het binnenmilieu: een verkenning van de literatuur

Er is gebrek aan kennis over het effect van houtkachels en open haarden in woningen op de gezondheid van bewoners. Bekend is dat houtrook schadelijke stoffen bevat. Er zijn nog maar weinig wetenschappelijke onderzoeken uitgevoerd naar de gevolgen van houtstook voor het binnenmilieu en de resultaten daarvan zijn niet eenduidig. Ook ontbreekt daarin informatie over hoe vaak bewoners blootstaan aan houtrook en hoeveel houtrook uit de kachel of open haard in de binnenlucht terechtkomt. Door dit gebrek aan kennis kan geen conclusie worden getrokken in welke mate houtstook in binnenruimten schadelijk is voor de gezondheid van stokers.

Dit blijkt uit een literatuuronderzoek van het RIVM naar de mogelijke gevolgen van houtstook in het binnenmilieu. Veel van de gevonden onderzoeken hebben beperkingen, zoals een te kleine onderzoeksgroep of subjectieve informatie over houtstook. Onderzoek uit Nederland ontbreekt. Aanvullend onderzoek is nodig.

In meerdere onderzoeken is bekeken of bij mensen die op hout stoken meer schadelijke stoffen in huis aangetroffen worden dan bij niet-stokers. In sommige onderzoeken zijn hogere concentraties gevonden van fijn stof, vluchtige organische stoffen (VOS) en polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) in het binnenmilieu bij stokers dan bij niet-stokers. Op basis van deze onderzoeken is echter niet te zeggen wat deze hogere concentraties betekenen voor de gezondheid.

Niet duidelijk is of binnenluchtkwaliteit verbetert wanneer oude kachels worden vervangen door nieuwere typen. Over de invloed van het geven van stookinstructies zijn weinig gegevens bekend. Uit het onderzoek komt naar voren dat luchtzuiveraars in huis de luchtkwaliteit binnenshuis kunnen verbeteren.

Het literatuuronderzoek is uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur in Waterstaat (IenW).

Kernwoorden: houtstook, binnenmilieu, stokers, gezondheid, houtkachel, open haard

Synopsis

Impact of wood burning on the indoor environment

There is a lack of knowledge about the impact of wood-burning stoves and fireplaces in homes on the health of residents. It is a known fact that wood smoke contains hazardous substances. Not much relevant scientific research has been carried out into the impact of wood burning on the indoor environment, and the results of this are not unambiguous. In addition, the results lack information on how frequently residents are exposed to wood smoke and how much wood smoke is discharged by the stove or fireplace into the indoor air. Due to this lack of knowledge, no conclusions can be drawn on the extent to which wood smoke in the indoor environment has a harmful effect on the health of persons using wood burning stoves or fireplaces.

The above is made clear by a literature review carried out by RIVM on the potential consequences of wood burning in the indoor environment. Much of the studies reviewed are subject to limitations, such as a study group that is too small or subjective information on wood burning. There is no research from the Netherlands. Additional research is needed.

Several studies have looked at whether higher concentrations of hazardous substances are found in homes where wood is burned as a fuel compared to homes where that is not the case. Some studies have found higher concentrations of particulate matter, volatile organic compounds (VOC), and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in the indoor residential environment of persons burning wood than persons not doing so.. However, from these studies it is not clear what the higher concentrations mean for the health of the residents.

It is not clear whether the indoor air quality improves when old stoves are replaced by newer types. Little data is available on the effect of providing appropriate wood-burning instructions. This review shows that indoor air purifiers may improve the air quality inside the home.

The literature review was commissioned by the Ministry of Infrastructure and Water Management (IenW).

Keywords: wood burning, indoor environment, persons burning wood indoors, health, wood-burning stove, fireplace

Inhoudsopgave

Samenvatting — 9

1 Inleiding — 11

2 Werkwijze — 13

3 Resultaten — 15
3.1 Resultaat van de literatuursearch — 15
3.2 Samenstelling en verspreiding houtrook — 15
3.3 Blootstelling aan houtrook binnenshuis — 15
3.3.1 Advieswaarden voor binnenlucht — 15
3.3.2 Blootstelling aan CO_2, CO en NO_2 — 16
3.3.3 Blootstelling aan fijn stof — 17
3.3.4 Blootstelling aan vluchtige organische stoffen (VOS) — 19
3.3.5 Blootstelling aan polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) — 20
3.3.6 Blootstelling aan aldehyden — 22
3.4 Gezondheidseffecten — 22
3.4.1 Allergieën, ademhalingsklachten en aandoeningen aan de luchtwegen en longen — 22
3.4.2 Kanker — 28
3.4.3 (Terugkerende) middenoorontsteking — 29
3.5 Maatregelen voor verbetering binnenlucht — 30
3.5.1 Vervanging oude houtkachels door gecertificeerde kachels — 30
3.5.2 Plaatsen van luchtfilters — 31
3.5.3 Voorlichting en instructie stoken — 32

4 Conclusies — 33

5 Zoekstrategie — 37

6 Literatuurlijst — 41

Samenvatting

Gevolgen van houtstook voor het binnenmilieu: een verkenning van de literatuur

Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat heeft het RIVM gevraagd om literatuuronderzoek te doen naar de mogelijke gevolgen van houtstook voor het binnenmilieu. Het literatuuronderzoek richtte zich op studies naar het binnenmilieu van huizen die beschikken over een houtkachel die gebruikt wordt voor verwarming. In de literatuur is gezocht naar gegevens gepubliceerd in de periode 2000 t/m mei 2017 over de aanwezigheid van schadelijke stoffen in de woning, mogelijke gezondheidseffecten van de bewoners en effecten van maatregelen om concentraties aan schadelijke stoffen in de binnenlucht te verminderen.

Voor concentraties van stoffen uit houtrook in de binnenlucht bestaan geen wettelijke grenswaarden. Er bestaan Europese grenswaarden voor lucht, maar die zijn voor buitenlucht. In 2006 heeft de WHO advieswaarden gepubliceerd voor buitenlucht en in 2010 voor een beperkt aantal stoffen, specifiek voor binnenlucht. Het RIVM heeft in 2004 (update 2007) gezondheidkundige advieswaarden (GAW) voor binnenlucht in woningen afgeleid voor een aantal chemische en fysische agentia. Ze hebben geen wettelijke status.

Uit de literatuur komen enkele aanwijzingen dat tijdens het stoken van hout een toename plaatsvindt van schadelijke stoffen in de binnenlucht. In enkele studies worden hogere concentraties gevonden van fijn stof, vluchtige organische stoffen (VOS) en polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) in huizen met een houtkachel ten opzichte van huizen zonder houtkachel.

Voor CO, CO_2 en NO_2 zijn in de onderzochte studies de GAW's niet overschreden. Voor fijn stof zijn in een aantal, maar niet in alle studies overschrijdingen gemeten. Voor andere stoffen (vluchtige organische stoffen, PAK's) zijn overschrijdingen gemeten, maar een vergelijking met de GAW heeft beperkingen doordat gemeten concentraties op korte termijn niet vergelijkbaar hoeven te zijn met een gemiddelde concentratie gemeten over een langere periode waarop de GAW is gebaseerd.

De epidemiologische literatuur over de invloed van houtrook in de binnenlucht op allergieën, ademhalingsklachten en aandoeningen aan luchtwegen en longen is niet eenduidig: er zijn tegenstrijdige resultaten gevonden. Zowel de blootstelling als de gezondheidsmaten zijn veelal zelf gerapporteerd, waardoor beide onnauwkeurig bepaald zijn. Hierbij kunnen vertekeningen door herinneringsbias zijn opgetreden. Over de invloed van houtrook op de ontwikkeling van longkanker en hersentumoren bij stokers kan op basis van de gevonden literatuur geen conclusie worden getrokken. Er zijn nog te weinig onderzoeken uitgevoerd, die bovendien inconsistente resultaten laten zien. De blootstelling is daarnaast beperkt gemeten, waarbij in sommige analyses het gebruik van hout en kolen tezamen is onderzocht.

Er zijn weliswaar aanwijzingen dat het vervangen van houtkachels door nieuwere (US-EPA gecertificeerde) modellen kan bijdragen aan verbetering van de luchtkwaliteit binnenshuis, maar dit is geen consistente bevinding. Uit alle geïncludeerde onderzoeken blijkt dat het plaatsen van luchtzuiveraars binnenshuis wel een duidelijke verbetering geeft van de concentraties fijn stof (PM2,5) en levoglucosan (een indicator voor houtrook) in huis. Over de invloed van stookinstructies zijn weinig gegevens gevonden.

De bevindingen uit deze literatuurstudie geven niet meer dan een indruk van de effecten van houtrook op het binnenmilieu van woningen waarin hout wordt gestookt. Er kan geen eenduidige uitspraak worden gedaan of, en in welke mate, het stoken van hout van invloed is op het binnenmilieu en de gezondheid van de stoker. Veel van de in deze review opgenomen studies hebben beperkingen, onder andere kleine studiepopulaties en subjectieve metingen van blootstelling. De gepubliceerde onderzoeken laten een te divers beeld zien van de studieresultaten, op basis waarvan een generieke uitspraak niet mogelijk is en voorbarig zou zijn. Dit kennishiaat kan alleen met aanvullend onderzoek gedicht worden.

1 Inleiding

De maatschappelijke discussie in Nederland rondom houtstook betreft vooral hinder van houtrook van buurtbewoners. Open haarden, vuurkorven en houtkachels zijn een belangrijke oorzaak van stankoverlast in Nederland. Tien procent van de bevolking geeft in een CBS-onderzoek aan last te hebben van rook van kachels en haarden (Groenwold en Woudenberg, 2014). Het ervaren van geurhinder kan leiden tot gezondheidsklachten (GGD, 2015).

De WHO heeft in 2015 een overzicht gepubliceerd van gezondheidseffecten van stoken met hout en kolen in Europa en Noord-Amerika (WHO, 2015). De nadruk lag hierbij op blootstelling via de buitenlucht. Blootstelling aan schadelijke stoffen bij stokers binnenshuis is echter vanuit gezondheidsoogpunt mogelijk ook belangrijk. Een deel van de houtrook komt namelijk direct uit de kachel of haard in het binnenmilieu van de stoker terecht. Daarnaast komen door ventilatie en infiltratie verbrandingsproducten ook weer terug in de eigen woning (Hagens et al., 2011).

Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat heeft het RIVM gevraagd na te gaan wat de mogelijke gevolgen zijn van houtstook specifiek voor het binnenmilieu in woningen waar hout wordt gestookt. Het RIVM heeft deze vraag vertaald in de volgende onderzoeksvragen:

- welke stoffen komen er vrij bij het stoken?
- zijn er normen en worden deze overschreden?
- worden er bij stokers meer schadelijke stoffen in huis aangetroffen dan bij niet-stokers?
- zijn er verschillen in gezondheid tussen stokers en niet-stokers?
- zijn er effectieve maatregelen om blootstelling te verminderen?

In dit briefrapport wordt samengevat wat er in de wetenschappelijke literatuur bekend is over deze onderzoeksvragen.

2 Werkwijze

De wetenschappelijke literatuurdatabases Medline en Scopus zijn doorzocht op publicaties met betrekking tot houtrook, houtkachels, binnenmilieu en gezondheid. De zoekstrategie staat vermeld in Bijlage 1. Er is gezocht naar artikelen die zijn gepubliceerd van 2000 tot en met mei 2017. In 2018 is het huidige rapport geschreven. Er is niet gezocht naar publicaties van voor 2000, omdat in een review uit 2011 (Hagens et al., 2011) al enige literatuur (ook van voor 2000) over het onderwerp was samengevat. De relevante artikelen uit Hagens et al. (2011) zijn in dit rapport opgenomen.

Voor het literatuuronderzoek zijn publicaties geselecteerd waarin onderzoek wordt beschreven naar het binnenmilieu van huizen die beschikken over een houtkachel. Het onderzoek beschreven in deze publicaties is onder te verdelen in onderzoek waarin metingen verricht zijn naar schadelijke stoffen in de woning en onderzoek waarin gekeken is naar gezondheid (onder andere piepende ademhaling, hoesten, astma en longkanker) van personen die wonen in huizen met houtkachels of open haarden. Als laatste is gekeken naar effecten van maatregelen om concentraties aan schadelijke stoffen in de binnenlucht te verminderen. Publicaties over onderzoek in ontwikkelingslanden, koken op hout, methoden om samenstelling van houtrook te analyseren en artikelen die niet gericht waren op woningen (zoals scholen en kantoren) zijn niet meegenomen in dit onderzoek.

3 Resultaten

3.1 Resultaat van de literatuursearch

In totaal voldeden 45 publicaties aan de inclusiecriteria.

3.2 Samenstelling en verspreiding houtrook

Houtrook bestaat uit een mix van chemische stoffen. Naast CO_2 en water bevat houtrook voornamelijk fijn stof (PM10 en PM2,5), anorganische gassen zoals koolmonoxide (CO) en stikstofoxiden (NO), vluchtige organische stoffen (VOS; onder andere benzeen, styreen, 1,3 butadieen), polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's; onder andere benzo(a)pyreen), aldehyden, fenolen en quinonen (onder andere formaldehyde) en organische zuren (Naeher et al., 2007).

Bij gebruik van open haarden maar ook bij houtkachels komt een deel van de verbrandingsrook direct terecht in het binnenmilieu. Het grootste deel zal via de schoorsteen in de omgeving worden uitgestoten. Door ventilatie en infiltratie van de buitenlucht komt hiervan een deel weer binnenshuis terug (Hagens et al, 2011).

3.3 Blootstelling aan houtrook binnenshuis

3.3.1 Advieswaarden voor binnenlucht

De Europese grenswaarden voor buitenlucht zijnvastgelegd in de Europese Commissie. Voor de binnenlucht zijn geen wettelijke grenswaarden opgesteld. In 2006 heeft de WHO advieswaarden gepubliceerd voor de buitenlucht (WHO, 2006) en in 2010 voor een beperkt aantal stoffen in de binnenlucht (WHO, 2010). WHO-advieswaarden voor stoffen in houtrook zijn vastgesteld voor benzeen (17 µg/m^3 (met een risico van 1/10.000)), koolmonoxide (7 mg/m^3 (24 uur), 10 mg/m^3 (8 uur), 35 mg/m^3 (1 uur), 100 mg/m^3 (15 minuten)), formaldehyde (100 µg/m^3 (30 minuten)), stikstofdioxide (40 µg/m^3 (jaargemiddelde), 200 µg/m^3 (1 uur)) en PAK's (1,2 ng B(a)P/m^3 (jaargemiddelde, met een risico van 1/10.000)).

In 2004 zijn door het RIVM gezondheidkundige advieswaarden (GAW) voor binnenlucht in woningen afgeleid voor een groot aantal chemische en fysische agentia. Een update vond plaats in 2007 (Dusseldorp en van Bruggen, 2007). De GAW's zijn concentraties van een stof die bij levenslange blootstelling niet tot schadelijke effecten leiden, of bij carcinogene stoffen concentraties waarbij het extra risico op kanker niet meer is dan 1 op de 10.000 blootgestelde personen bij levenslange (honderd jaar) blootstelling. De GAW's hebben als uitgangspunt het maximaal toelaatbaar risico gedurende levenslange blootstelling. Voor onderstaande stoffen die in houtrook voorkomen zijn echter GAW's opgesteld met een afwijkende middelingsduur.

GAW's voor stoffen die ook in houtrook voorkomen, zijn vastgesteld voor koolmonoxide (10 mg/m^3 (8 uur), 30 mg/m^3 (1 uur), 60 mg/m^3 (30 minuten), 100 mg/m^3 (15 minuten)), stikstofdioxide (200 µg/m^3 (1 uur)), PM2,5 (10 µg/m^3 (jaargemiddelde), 25 µg/m^3 (24 uur)), PM10 (20 µg/m^3 (jaargemiddelde), 50 µg/m^3 (24 uur)), benzeen (20 µg/m^3

(jaargemiddelde)), tolueen (400 µg/m^3 (jaargemiddelde)), ethylbenzeen (770 µg/m^3 (jaargemiddelde)), xyleen (870 µg/m^3 (jaargemiddelde)), formaldehyde (1,2 µg/m^3 (jaargemiddelde)) en PAK's (1,2 ng B(a)P/m^3 (jaargemiddelde)).

Voor CO_2 is geen GAW opgesteld, maar wordt in Nederland, overeenkomstig een advies van de Gezondheidsraad, een CO_2-concentratie van gemiddeld 1200 ppm beschouwd als advieswaarde, omdat hogere gemiddelde concentraties duiden op onvoldoende luchtverversing.

De in deze verkenning opgenomen artikelen beschrijven metingen die verricht zijn naar concentraties schadelijke stoffen in woningen. Om iets te kunnen zeggen over de schadelijkheid van de gemeten concentraties vergelijken wij deze met de betreffende GAW. Echter, de in de onderzoeken gemeten concentraties zijn niet altijd te vergelijken met GAW's omdat ze zijn weergegeven in verschillende middelingstijden (jaargemiddelden, daggemiddelden, uurgemiddelden etc.). Bij vergelijking dient men hier rekening mee houden.

3.3.2 *Blootstelling aan CO_2, CO en NO_2*

Er werden drie publicaties gevonden waarin concentraties CO_2, CO en NO_2 in woningen met houtkachels zijn gerapporteerd (Levesque et al., 2001; Salthammer et al., 2014; Semple et al., 2012).

In drie plaatsen in Canada binnen 50 km van Quebec City werden in 49 huizen concentraties CO (gedurende 12 uur) en NO_2 (gedurende 24 uur) gemeten, waarvan in 41 huizen een houtkachel en in acht huizen een andere vorm van verwarming aanwezig was (Levesque et al., 2001). De metingen vonden plaats tijdens het stoken. Alle gemeten concentraties bleven onder de GAW voor CO van 10 mg/m^3 (en voor NO_2 van 200 µg/m^3 (). Verschillen in CO en NO_2 tussen huizen met en zonder kachel konden door het grote aantal metingen onder de detectielimiet niet statistisch getoetst worden. Alle waarnemingen met relatief hoge NO_2-concentraties of concentraties boven de detectielimiet voor CO waren gemeten in huizen met een houtkachel.

Salthammer et al. (2014) onderzochten zeven huizen met houtkachels in Duitsland. Concentraties stoffen werden gemeten voor, tijdens en na het stoken. Tijdens en na het stoken vond een kleine verhoging plaats van CO_2, CO en NO_2-concentraties. Alle gemeten concentraties bleven onder de GAW voor CO van 10 mg/m^3 (acht uur gemiddelde) en voor NO_2 van 200 µg/m^3 (één uur gemiddelde). De maximale concentraties CO_2 in de studie van Salthammer et al. (2014) bleven tijdens en na het stoken onder of niet ver boven de 1200 ppm (overeenkomstig de advieswaarde van de Gezondheidsraad).

Semple et al. (2012) heeft in honderd huizen gedurende de winter en lente van 2009-2010 in Ierland en Schotland metingen uitgevoerd in huizen waarin voor de verwarming hout (n=22; meestal een houtkachel) werd gebruikt. Daarnaast zijn ook huizen onderzocht waar voor de verwarming kolen (n=22) of turf (n=20) werd gebruikt en huizen waarin gas werd gebruikt om te koken (n=16) en in huizen waar tenminste één bewoner rookte (n=20). In deze woningen zijn geen andere vormen voor

verwarming gebruikt, zoals elektriciteit. Als mensen rapporteerden dat ze meerdere soorten 'vaste' verwarming gebruikten (turf, kolen, hout) werden ze uitgesloten van de metingen. De gemiddelde NO_2-concentratie was 5 µg/m^3 (range 2-12; gemeten gedurende twee weken en daarmee ver beneden de buitenluchtconcentratie in Nederland, circa 20 ug/m3) en de gemiddelde concentratie CO2 708 ppm (range 520-1540; 24-uurs gemiddelde). De CO_2-concentratie van gemiddeld 1200 ppm, overeenkomstig een advies van de Gezondheidsraad, wordt dus niet overschreden.

Samenvattend: In de studies waar CO_2, CO en NO_2 werd gemeten, bleven de concentraties in de binnenlucht van de gerapporteerde componenten onder de GAW.

3.3.3 *Blootstelling aan fijn stof*

De Europese grenswaarden voor de jaargemiddelde concentraties PM10 en PM2,5 in de buitenlucht zijn respectievelijk 40 µg/m^3 en 25 µg/m^3. De EU-grenswaarde in de buitenlucht voor daggemiddelde PM10 is 50 µg/m^3 (geen dagwaarde voor PM2,5). De dagwaarde voor PM10 mag op maximaal 35 dagen per jaar overschreden worden. De WHO-advieswaarden voor deze fracties zijn 20 µg/m^3 respectievelijk 10 µg/m^3 (jaargemiddelde). De WHO-advieswaarden voor dagwaarden zijn 50 µg/m^3 respectievelijk 25 µg/m^3 (WHO, 2006). De Nederlandse GAW voor binnenlucht voor PM2,5 en PM10 (Dusseldorp et al. 2007) komen overeen met de WHO-advieswaarden voor buitenlucht. Voor de fijnste fractie (ultrafijn stof) bestaan geen grens- of advieswaarden.

In hetzelfde onderzoek als beschreven onder 3.3.2 vonden Levesque et al. (2001) geen statistisch significante verschillen in de PM10 binnenluchtconcentraties in 41 huizen met en acht huizen zonder houtkachels. De metingen vonden plaats in de huizen met houtkachels tijdens het stoken gedurende 24 uur. De gemeten concentraties bleven onder de daggemiddelde GAW van 50 µg/m^3. In drie gevallen overschreed de concentratie aan fijn stof deze waarde. Oorzaken waren de aanwezigheid van een brons-atelier, renovatie van het huis en het reinigen van de asla van de houtkachel gedurende de bemonstering.

In de winter van 2003 is blootstelling aan PM2,5 onderzocht bij mensen die woonden in Hagfors, Zweden en bij wie het huis verwarmd werd door houtverbranding (Molnár et al., 2005). Er werden veertien huishoudens onderzocht. Deze studie vond plaats gedurende negen dagen (10 februari – 12 maart 2003). Gedurende één van deze dagen droeg elke bewoner gedurende 24 uur een meetinstrument bij zich waarmee fijn stof werd gemeten. Tegelijkertijd werd de binnen- en buitenlucht gemeten. In de woonkamer van de onderzochte persoon werd een meetinstrument geplaatst waarmee de binnenlucht gedurende 24 uur werd gemeten. De concentratie PM2,5 in de buitenlucht werd op één plek in het gebied van het onderzoek gemeten. De mediane persoonlijke blootstelling en binnenluchtconcentratie PM2,5 waren respectievelijk 14.1 µg/m^3 en 10.3 µg/m^3 gedurende 24 uur. De laagste gemeten waarden waren respectievelijk 5.3 en 3.9 µg/m^3 gedurende 24 uur. De hoogste gemeten waarden waren respectievelijk 59 en 61 µg/m^3. Hieruit is op te maken dat in sommige gevallen de GAW werd overschreden. Uit het onderzoek bleek echter ook dat het gebruik van een houtkachel de PM2,5-concentraties

niet verhoogde. De buitenluchtconcentratie PM2,5 varieerde echter enorm en correleerde sterk met binnenluchtconcentraties PM2,5, wat de resultaten mogelijk heeft vertekend.

Weichenthal et al. (2007) onderzochten in 36 huizen in Canada de bijdrage van verwarmingssystemen aan de ultrafijn stof (<100 nm)-concentraties in huis. De auteurs concluderen dat bronnen als roken en koken meer bijdragen aan de verhoging van de concentraties ultrafijn stof in huis dan verwarmen met hout. Toch lieten de metingen zien dat houtstook wel degelijk bijdraagt aan de verhoging van de concentratie ultrafijn stof binnenshuis. Een beperking van deze studie was dat deeltjes < 20 nm niet gedetecteerd konden worden. Om deze beperking op te heffen is verder onderzoek nodig, vooral naar de verhoging van deeltjes die kleiner zijn dan 20nm.
In het onderzoek van Semple et al. (2012) werd ook fijn stof gemeten. De gemiddelde PM2,5-concentratie van alle huizen bij elkaar genomen was 13 µg/m^3 (24-uur gemiddelde) en overschreed nooit de GAW PM2,5-concentratie van 25 µg/m^3 in huizen waar alleen hout werd gestookt. De gemiddelde buitenluchtconcentraties PM2.5 gedurende 24 uur was in zowel Schotland als Ierland 8,2 µg/m^3.

McNamara et al. (2013) en Semmens et al. (2015) onderzochten concentraties fijn stof (PM2,5) in huizen met niet-EPA gecertificeerde houtkachels (zoals later ook beschreven wordt, EPA gecertificeerde kachels produceren minder rook dan niet-gecertificeerde kachels) in het stookseizoen in de Verenigde Staten. In beide onderzoeken is gebruikgemaakt van gegevens van het ARTIS (*Asthma Randomized Trial of Indoor Wood Smoke*)-onderzoek. In het onderzoek van McNamara et al. (2013) waren vijftig huizen betrokken in Montana, en Semmens et al. (2015) bemonsterden 96 huizen in Montana, Idaho en Alaska. In beide onderzoeken bleek de gemiddelde PM2,5-concentratie de GAW van 25 µg/m^3 (daggemiddelde) te overschrijden (respectievelijk 32 en 29 µg/m^3 in de studies van McNamara et al. (2013) en Semmens et al. (2015)). In het onderzoek van Semmens et al. (2015) overschreed de PM2,5-concentratie de GAW in 30% van de huizen. Verder bleek in het onderzoek van Semmens et al. (2015) dat het tijdstip waarop de meting is uitgevoerd de gemeten waarden van zowel de binnen- als de -buitenlucht kan beïnvloeden. De hoogste PM2,5-concentratie in de binnenlucht werd gemeten tussen 18.00 en 22.00 uur, op het tijdstip dat men de meeste mensen thuis verwacht. De laagst gemeten PM2,5-concentratie was tussen 02.00 en 06.00 uur in de ochtend, op het tijdstip dat te verwachten is dat de meeste mensen slapen en een houtkachel niet gebruiken. De PM2,5-concentratie van buitenlucht was het hoogst tussen 22.00 uur en 02.00 uur en was het laagst tussen 10.00 en 14.00 uur. Dit vormt daarom geen verklaring voor de gemeten PM2,5-concentraties in de binnenlucht. De auteurs hebben ook onderzocht welk percentage van de binnenlucht PM2,5-concentratie verklaard kan worden door PM2,5 afkomstig van de buitenlucht. Gemiddeld werd 70% van de PM2,5 in de binnenlucht verklaard door bronnen van PM2,5 binnenshuis.

Bij metingen in Duitsland (Nedersaksen) in huizen met houtkachels werd in drie van de zeven huizen een overschrijding gemeten van de GAW in de binnenlucht tijdens het stoken (Salthammer et al., 2014). Gedurende

24 uur werd elke seconde de concentratie PM2,5 gemeten. Tijdens het stoken werden concentraties PM2,5 tussen de 6 en 55 µg/m^3 gemeten. Opvallend was echter dat de binnen- en buitenconcentraties van PM2,5 gelijk waren of in sommige gevallen zelfs hoger buiten (dicht bij het huis waar de meting plaatsvond, dus mogelijk niet representatief voor de concentratie buiten). Buiten werden PM2,5-concentraties gemeten tussen de 9 en 46 µg/m^3.

In een onderzoek in Noorwegen werd onderzocht of er een verband bestond tussen zelfgerapporteerd gebruik van houtkachels of andere bronnen van fijn stof binnenshuis en fijn stof-binnenluchtconcentraties (Wyss et al., 2016). Huishoudens werden onderzocht van mensen die werkten bij de '*Norwegian Institute of Public Health*' in Oslo, Noorwegen. In totaal werden achttien huishoudens onderzocht waarin een houtkachel de voornaamste bron voor verwarming was en 23 huishoudens waarin geen houtkachel aanwezig was. Deelnemers rapporteerden of ze gebruik hebben gemaakt van een houtkachel gedurende zeven dagen. De gemeten PM2,5-concentraties overschreden de GAW in huishoudens met houtkachel (range: 0-1225 µg/m^3). De gemiddelde PM2,5-concentratie was hoger in huishoudens met houtkachel (gemiddeld per uur 15.6 µg/m^3; range: 0-1225 µg/m^3) vergeleken met huishoudens zonder houtkachel (gemiddeld PM2,5 binnenlucht-concentratie per uur 12.6 µg/m3, range: 0–1765 µg/m^3). In huishoudens met nieuwere houtkachel modellen (gemaakt >1997) bleek de concentratie PM2,5 binnenlucht ongeveer gelijk aan huishoudens zonder houtkachel (11.9 µg/m^3 en 12.6 µg/m^3, respectievelijk), terwijl de concentratie in huishoudens met oudere modellen (gemaakt <=1997) hoger was (20.2 µg/m^3).

In het '*Indoor Air Quality*'-onderzoek werden zes huizen in Italië onderzocht waar een houtkachel of open haard de primaire verwarmingsbron was (de Gennaro et al., 2015). Het gemiddelde, hoogste en het laagste gemeten binnenlucht-PM10 (gemeten gedurende twaalf uur) was 68.6, 350.7 en 16.8 µg/m^3. Ook in dit onderzoek zijn de GAW-waardes dus overschreden. Buitenlucht-concentraties PM10 zijn niet gemeten.

Samenvattend: In zeven van de geïncludeerde studies waren concentraties fijn stof gemeten. Deze studies geven aanwijzingen dat het stoken van hout de concentraties fijn stof in de binnenlucht kan verhogen en dat daarbij de GAW voor fijn stof overschreden kan worden, hoewel niet in alle gevallen. In drie studies was de concentratie niet verhoogd (Levesque et al., 2001; Molnár et al., 2005; Semple et al., 2012). In de geïncludeerde studies is de invloed van buitenluchtconcentraties onduidelijk of waren deze niet gemeten; mogelijk heeft dit de resultaten vertekend.

3.3.4 Blootstelling aan vluchtige organische stoffen (VOS)

Galbally et al. (2009) vonden in Australië geen significante verschillen in concentraties BTEX (opsomming van de concentraties benzeen, tolueen, ethylbenzeen en xyleen) in de winter tussen huizen met houtkachels met het '*Australian Standard*'-keurmerk (houtkachels die voldoen aan regels omtrent de maximale hoeveelheid fijn stof die uitgestoten mag worden) (n=19), huizen met kachels zonder keurmerk (n=30) en huizen

zonder houtkachels (n=28). Er was geen statistisch significant verschil in concentraties tussen de drie groepen. Alle waarden bleven onder de GAW voor deze stoffen. Tijdens het stoken in de winter werden ook verhoogde BTEX-concentraties gevonden in de buitenlucht.

Piccardo et al. (2014) vonden tijdens het stoken in de winter een toename van concentraties van BTEX in negen huizen in Italië met houtkachels. Na onderzoek bleek dat er ook andere bronnen van BTEX in huis voorkwamen die mogelijk de BTEX-concentraties verhoogden. Deze andere bronnen waren onder andere het schilderen binnenshuis, het gebruik van oplosmiddelen en het branden van wierook. Na instructie van bewoners over de wijze van stoken en ventilatie namen de BTEX-concentraties binnenshuis het tweede jaar af, ondanks een strengere winter waarin meer gestookt werd. Alle gemeten concentraties bleven onder de GAW voor deze stoffen (Dusseldorp et al. 2007).

Uit een Zweedse studie bleek dat in de winter in huizen met een houtkachel (n=14) hogere binnenluchtconcentraties van 1,3-butadieen (0,31 µg/m^3) en benzeen (5,7 µg/m^3) aanwezig waren in vergelijking met huizen zonder kachel (n=10); 0,11 µg/m^3 en 2,5 µg/m^3 voor respectievelijk 1,3-butadieen en benzeen. Buitenshuis werd een concentratie van 1,3 µg/m^3 benzeen gemeten bij de huizen met houtkachel en 1,0 µg/m^3 bij de huizen zonder houtkachel. De concentraties buitenshuis werden gemeten naast het huis op 1,5 meter hoogte of op het dak van een aan het huis grenzende garage op 4 meter hoogte. Resultaten van de buitenluchtconcentraties van 1,3-butadieen waren niet betrouwbaar en zijn daarom niet gepubliceerd (Gustafson et al., 2007).

Salthammer et al. (2014) vonden in zes van zeven onderzochte huizen een toename van benzeen bij gebruik van de houtkachel. De gemeten concentraties in de binnenlucht in deze woningen waren tijdens het stoken 6, 4, 72, 25, 8 en 34 µg/m^3 (gemeten elke 40 min gedurende 4 uur) en voor het stoken 3, 3, 2, 6, 3 en 5 µg/m^3, respectievelijk. Deze verschillen zijn echter niet getoetst op significantie. De gemeten waarden van drie van deze woningen overschreden de GAW van 20 µg/m^3 (jaargemiddelde) tijdens het stoken (Dusseldorp en van Bruggen, 2007), hoewel een vergelijking met de GAW beperkingen heeft vanwege verschillen in middelingstijden tussen de gemeten waarde en de GAW. De auteurs geven aan dat deze verhoging in één geval veroorzaakt werd door het gebruik van aanmaakblokjes met benzeen en dat in de andere twee gevallen waarschijnlijk verbrandingsproblemen van de kachel de oorzaak waren van de hoge concentraties benzeen.

Samenvattend: De literatuur geeft aanwijzingen dat in het stookseizoen de concentraties VOS in de binnenlucht toenemen in woningen met houtkachels. Gelet op de beperkingen van de onderzoeken, kan niet eenduidig worden opgemaakt in hoeverre het stoken van hout hiervan de oorzaak is. De concentraties VOS bleven onder de advieswaarden met uitzondering van benzeen in het onderzoek van Salthammer et al., 2014.

3.3.5 Blootstelling aan polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's)

In een studie van Gustafson et al. (2008) in Hagfors, Zweden werden 27 verschillende PAK's onderzocht in dertien woningen met houtkachels

of open haarden (drie van dertien hadden een open haard) en tien woningen met alleen elektrische verwarming of een warmtepomp tijdens het stookseizoen. De meeste PAK's bleken in huizen met een houtkachel in 3-5 keer hogere concentraties voor te komen dan in huizen zonder verwarming door hout. Concentraties PAK's in de buitenlucht (gemeten bij woningen zonder verwarming door hout) waren voor het merendeel van de 27 verschillende PAK's hoger dan binnenluchtconcentraties, in zowel huizen met als huizen zonder verwarming door hout. Benzo(a)pyreen concentraties in huizen met houtkachel waren 5x hoger (mediaan 0,52 ng/m^3) dan de Zweedse richtlijn van 0,1 ng/m^3 voor deze stof. De mediane concentratie in huizen zonder houtkachel was 0,12 ng/m^3. De richtlijn van 0,1 ng/m^3 werd ook alle dagen in de buitenlucht overschreden (mediaan 0,37 ng/m^3). De GAW voor PAK's van 1,2 ng B(a)P/m^3 werd niet overschreden.

Salthammer et al. (2014) vonden in twee van de zeven huizen tijdens het stoken van de kachels een significante toename van benzo(a)pyreen in de binnenluchtconcentraties (1,1 en 2,8 ng/m^3).In een huis overschreed de binnenluchtconcentratie (gemiddelde gedurende 4 uur) de GAW voor PAK's (jaargemiddelde), hoewel een vergelijking met de GAW beperkingen heeft vanwege verschillen in middelingstijden tussen de gemeten waarde en de GAW het om een 4-uurswaarde gaat. . Bij drie andere woningen werd geen verhoogde concentratie binnenshuis gemeten, maar een verhoogde concentratie buitenshuis dicht bij de woning (0,7; 0,8; 2,5 ng/m^3). Alle overige metingen bleven onder de detectiegrens van 0,6 ng/m^3.

In het '*Indoor Air Quality*'-onderzoek (hierboven beschreven onder 'Blootstelling aan fijn stof') is ook benzo(a)pyrene concentratie onderzocht. Zoals al beschreven zijn in het *Indoor Air Quality*-onderzoek zes huizen in Italië onderzocht waar een houtkachel of open haard de primaire verwarmingsbron was (de Gennaro et al., 2015). Het gemiddelde, hoogste en het laagste gemeten benzo(a)pyrene concentratie (gemeten gedurende twaalf uur) was 9.4, 24.0 en 1.5 ng/m^3.

Als indicator voor blootstelling aan PAK's is de concentratie van bepaalde metabolieten onderzocht (namelijk '1-hydroxypyrene, 1-,2-,3-,4- en 9-hydroxyphenanthrene en 3-hydroxybenzo[a]pyrene') in urine bij 957 Spaanse personen (16-65 jaar) gedurende 2009-2010 (Bartolomé et al., 2015). Bij mensen bij wie de woning door middel van hout werd verwarmd (n=27) was de concentratie 1-hydroxypyrene ongeveer 1,5 keer zo hoog vergeleken met mensen die woonden in een huis zonder een vorm van verwarming. Verwarming door kolen zorgde ook voor een twee keer zo hoge concentratie. Geen verschil is gevonden tussen mensen zonder verwarming en mensen bij wie de woning door middel van elektrische verwarming, gas of olie werd verwarmd.

Samenvattend: Er zijn beperkte aanwijzingen dat in huizen met een houtkachel tijdens het stoken hogere concentraties PAK's voorkomen dan in huizen zonder houtkachel. Resultaten van twee geïncludeerde studies zijn echter moeilijk te interpreteren, omdat de niveaus in de buitenlucht over het algemeen hoger waren dan de niveaus in de

binnenlucht, onafhankelijk van de aanwezigheid van een houtkachel (Gustafson et al. 2008; Salthammer et al. 2014).

3.3.6 *Blootstelling aan aldehyden*

Levesque et al. (2001) hebben in Canada in 28 huizen met een houtkachel en drie huizen zonder houtkachel formaldehyde in de binnenlucht gemeten tijdens het stoken. Er werden geen significante verschillen gevonden tussen huizen met en zonder kachel. De gemiddelde concentratie in huizen met houtkachel was 7,3 ± 4,1 µg/m^3 en die in huizen zonder kachel 9,2 ± 9,1 µg/m^3 met maximale gemeten concentraties van respectievelijk 20,2 en 19,7 µg/m^3.

In de Zweedse studie van Gustafson et al. (2007) werden ook geen significante verschillen aangetroffen voor aldehyden (formaldehyde en aceetaldehyde) tussen veertien huizen met en tien zonder houtkachel gedurende het stookseizoen. Wel waren de vier hoogste concentraties gemeten in huizen met houtkachels. De gemiddelde formaldehyde concentratie was in huizen met kachel 28 µg/m^3 en zonder kachel 27 µg/m^3.

Salthammer et al. (2014) vonden een gemiddelde verhoging van formaldehyde van 14 µg/m^3 naar 26 µg/m^3 en aceetaldehyde van 13 naar 29 µg/m^3 tijdens het stoken in zeven woningen met een houtkachel in Duitsland. In twee woningen was de stijging statistisch significant.

Samenvattend: Hoewel in één onderzoek een verhoging in formaldehyde en aceetaldehyde tijdens het stoken werd gevonden, werd in twee andere studies geen verschil in concentraties aldehyden gerapporteerd tussen huizen met en zonder houtkachel. Alle concentraties formaldehyde bleven onder de WHO-advieswaarde van 100 µg/m^3 voor een periode van 30 minuten, maar overschreden de GAW van 1,2 µg/m^3 (jaargemiddelde). Dit gold zowel voor woningen waar hout werd gestookt als voor woningen waar dit niet het geval was. Er is geen WHO-advieswaarde of GAW voor aceetaldehyde voor binnenlucht.

3.4 Gezondheidseffecten

In dit hoofdstuk wordt samengevat wat in de literatuur beschreven is over de gezondheid van personen die blootgesteld zijn aan houtrook door verwarming in hun woning (of waarvan wordt aangenomen dat ze blootgesteld zijn) vergeleken met de gezondheid van personen die niet zijn blootgesteld. Experimenteel onderzoek waarbij vrijwilligers worden blootgesteld aan bekende concentraties (stoffen uit) houtrook viel buiten het bestek van dit literatuuronderzoek. In de onderzoeken die hieronder beschreven worden, is niet bestudeerd welke stof(fen) uit houtrook gerelateerd zijn met eventuele gezondheidseffecten.

3.4.1 *Allergieën, ademhalingsklachten en aandoeningen aan de luchtwegen en longen*

Kilpelainen et al. (2001) hebben een retrospectief cohortonderzoek uitgevoerd onder 10.667 Finse studenten (18-25 jaar) die van hun geboorte tot hun zesde levensjaar woonden in een huis dat verwarmd werd met een houtkachel. Zij werden vergeleken met leeftijdsgenoten die tot hun zesde levensjaar woonden in een huis met een andere bron

van verwarming. Uit beide groepen werden personen die tussen hun zevende t/m achttiende levensjaar woonden in een woning waar een houtkachel werd gebruikt uitgesloten. Er bleek geen verschil in het voorkomen van zelfgerapporteerde astma, piepende ademhaling of allergieën tussen de twee groepen studenten. Er is geen informatie bekend over de intensiteit van de blootstelling.

In Canada, in drie verschillende gemeenten binnen 50 km van Quebec City, zijn zelf gerapporteerde ademhalingsklachten en -ziekten onderzocht bij 59 kinderen (5-14 jaar) en volwassenen (23-52 jaar) die woonden in een door alleen hout verwarmde woning (met behulp van een houtkachel of open haard) (Levesque et al., 2001). De controlegroep bestond uit dertig kinderen en volwassenen die woonden in een door alleen elektriciteit verwarmde woning. In elke woning woonde één kind en één volwassene die deelnamen aan het onderzoek (in totaal 89 woningen). De onderzoekers vonden geen verschil in zelfgerapporteerde ademhalingsklachten en -ziekten (onder andere keelontsteking, verkoudheid, piepende ademhaling, hoesten, longontsteking, bronchitis, astma) tussen personen die woonden in een huis verwarmd door hout vergeleken met een huis verwarmd door elektriciteit. De onderzochte personen werd ook gevraagd of zij zichtbare rook in hun woning hadden opgemerkt. Hierbij werd niet gevraagd waar volgens de onderzochte personen de rook vandaan kwam. Zelfgerapporteerde zichtbare rook bleek wel gerelateerd aan het voorkomen van onderste luchtwegaandoeningen bij kinderen en bovenste luchtwegaandoeningen bij volwassenen. Ook rapporteerden personen die rook in de woning opmerkten een groter aantal dagen met klachten van de onderste luchtwegen. Resultaten kunnen vertekend zijn door het feit dat de blootstelling zelfgerapporteerd is. Personen met klachten herinneren zich mogelijk eerder de rook dan personen zonder klachten. Tot slot werd mensen gevraagd of zij ‘af en toe’ of ‘regelmatig’ hun ramen openden in de winter. De personen die dat wel deden, hadden minder dagen klachten van de bovenste luchtwegaandoeningen dan personen die dat nooit deden. Ook in dit onderzoek is de intensiteit van de blootstelling, het type houtkachel of het gebruikte hout niet onderzocht.

In Zweden werden 174 personen met astma vergeleken met 870 personen zonder astma (Thorn et al., 2001). De onderzochte personen werd gevraagd of ze door een arts waren gediagnosticeerd met astma. Daarnaast werd gevraagd of er een open haard of houtkachel in hun woning aanwezig was of was geweest. De aanwezigheid van een houtkachel in de woning vóórdat astma werd gediagnosticeerd was gerelateerd aan het vaker voorkomen van astma (OR=1.7, CI=1.2-2.5; gecorrigeerd voor leeftijd, geslacht, roken en atopie). De onderzoekers bediscussiëren dat personen met astma zich mogelijk beter kunnen herinneren dat er een houtkachel aanwezig was in hun woning, wat de resultaten zou kunnen vertekenen. Ook in dit onderzoek is de blootstelling aan houtrook beperkt gemeten. Het is bovendien onbekend of het de enige bron was van verwarming.

Triche et al. (2002) bestudeerden de effecten van het gebruik van een open haard of houtkachel onder 890 kinderen in hun eerste levensjaar die in niet-rokende gezinnen woonden in Connecticut en Virginia. De moeders van de kinderen werd gevraagd dagelijks de frequentie en de

duur van hoesten en een piepende ademhaling van de kinderen bij te houden in een agenda. Gedurende een jaar werden de moeders om de week gebeld door een onderzoeker om hun bevindingen te rapporteren. Een groot percentage van de kinderen had gedurende het eerste jaar last van hoesten en een piepende ademhaling, maar er werd geen relatie gevonden met het vaker gebruiken van een open haard. Er werd relatief weinig gebruikgemaakt van open haarden en voor kortere perioden. Hierdoor was de blootstelling aan houtrook misschien te laag om een verband aan te kunnen tonen. In tegenstelling tot het gebruik van een open haard was er wel een relatie tussen het gebruik van een houtkachel en hoesten bij de kinderen (RR=1.08; 95%CI=1.00-1.16; $p<0.05$). Omdat de onderzoekers relatief vaak contact hebben gehad met de moeders over hun recente aantal uren gebruik van een open haard of houtkachel zijn de gegevens relatief nauwkeurig, hoewel de zelfrapportage van het gebruik van een kachel de resultaten mogelijk wel vertekend heeft. De auteurs bediscussiëren dat het bepalen van de blootstelling aan vervuilende stoffen afkomstig van open haarden en houtkachels moeilijk is vanwege verschillen in ontwerp en het soort hout dat wordt gestookt.

Triche et al. (2005) onderzochten het verband tussen het gebruik van open haarden en luchtwegklachten (piepende ademhaling, benauwdheid, schor zijn, slijm, hoesten, loopneus, zere keel) bij volwassen, niet-rokende vrouwen. Dezelfde dataset is gebruikt als in het onderzoek van Triche et al (2002). Gedurende een jaar werden 888 niet-rokende vrouwen om de week gebeld door een onderzoeker om hun bevindingen te rapporteren. Het gebruik van een open haard bleek gerelateerd te zijn aan het hebben van klachten over slijm (RR=1.04), hoesten (RR=1.04) en een zere keel (RR=1.04). Bij een toename van 4 uur per dag in het gebruik van een open haard nam het aantal klachten over benauwdheid, hoesten en zere keel toe met ongeveer 20%. Het gebruik van een houtkachel bleek niet geassocieerd met luchtwegklachten, wat mogelijk te verklaren is omdat er meer rook in de woning komt via een open haard dan via een houtkachel. Net als bij Triche et al. (2002) zijn de blootstelling en de onderzochte gezondheidsklachten zelfgerapporteerd, wat de resultaten kan vertekenen. De vrouwen zijn echter relatief vaak geïnterviewd, wat de invloed van herinneringsbias kan verminderen. Opvallend is dat een verband tussen luchtwegklachten werd gevonden met het gebruik van een houtkachel (maar geen open haard) in het onderzoek van Triche et al. (2002) en met het gebruik van een open haard (maar geen houtkachel) in het onderzoek van Triche et al. (2005). De auteurs bediscussiëren dat het mogelijk komt doordat de open haard alleen wordt gebruikt nadat baby's zijn gaan slapen, met als doel ontspanning, niet verwarming.

Beckett et al. (2006) gebruikten dezelfde dataset als Triche et al. (2002) en Triche et al. (2005). Beckett et al. (2006) onderzochten of het gebruik van open haarden de variabiliteit van '*Peak Expiratory Flow Rate*' (PEF) beïnvloedde van 638 niet-rokende vrouwen. De PEF-variabiliteit is een longfunctiemaat. Het is een indicator voor de reactiviteit van normale luchtwegen op stimuli uit de omgeving (bekend is dat astmapatiënten hogere PEF-variabiliteit hebben) (Beckett et al. 2006). De vrouwen maten hun PEF-variabiliteit zelf gedurende twee weken twee keer per dag. De vrouwen werden thuis bezocht en aan de

hand van een gestandaardiseerde vragenlijst geïnterviewd over het gebruik van onder andere een open haard. De vrouwen werden ook gedurende een jaar elke twee weken telefonisch geïnterviewd over het aantal uren dat er gebruik werd gemaakt van de open haard. Hoewel de PEF-variabiliteit gerelateerd bleek aan het hebben van astma, bleek deze niet gerelateerd aan het gebruik van een open haard. Er was gecorrigeerd voor opleidingsniveau, etniciteit en allergieën. Een verklaring zou kunnen zijn dat bij de PEF-variabiliteit metingen langer dan twee weken uitgevoerd moeten worden om veranderingen te kunnen meten.

Eisner et al. (2002) onderzochten de relatie tussen het gebruik van een open haard en houtkachel en astmasymptomen bij 349 volwassenen met astma in San Francisco. De deelnemers aan het onderzoek werden telefonisch ondervraagd over hun gezondheid. Aan het einde van de periode (na achttien maanden) werden zij nogmaals gebeld en ondervraagd. Astma-symptomen bleken niet te verschillen tussen personen die wel of niet gebruikmaakten van een open haard of houtkachel. De auteurs bediscussiëren dat het mogelijk is dat iemand met zware astma de open haard of houtkachel minder gebruikt dan iemand met minder zware astma, wat de resultaten zouden kunnen beïnvloeden. Hier hebben ze in de analyse echter geen rekening mee gehouden.

Belanger et al. (2003) onderzochten het verband tussen het gebruik van hout voor verwarming en een piepende ademhaling en aanhoudende hoest bij 849 kinderen. De moeder van het kind werd zes maanden, negen maanden en twaalf maanden na de geboorte gevraagd of het kind een piepende ademhaling of aanhoudende hoest had en, zo ja, hoeveel dagen. Ook werd twaalf maanden na de geboorte de moeder gevraagd of zij minstens één keer per maand een houtkachel gebruikte. In totaal gebruikten 49 van de 849 moeders minstens één keer per maand een houtkachel. Bij kinderen van moeders met astma werd geen verband gevonden tussen het gebruik van een houtkachel en een piepende adem en aanhoudende hoest. Kinderen van moeders zonder astma hadden vaker een aanhoudende hoest bij het minstens één keer per maand gebruiken van een houtkachel (OR ten opzichte van geen gebruik van een houtkachel=2.09; CI=1.12-3.91). Een beperking van de analyse is dat er met kleine aantallen is gewerkt. Ook kan er sprake zijn van *recall* bias aangezien de moeders pas na twaalf maanden is gevraagd hoe vaak zij de houtkachel hebben gebruikt.

Orozco-Levi et al. (2006) onderzochten in Spanje zestig vrouwen (gemiddeld 73 jaar) gediagnosticeerd met COPD en zestig vrouwen (gemiddeld 69 jaar) met normale longfunctie (de controlegroep). Alle vrouwen werden aan de hand van een gestandaardiseerde vragenlijst geïnterviewd door getrainde artsen die niet op de hoogte waren van het doel van dit onderzoek. Blootstelling aan houtrook en kolenrook werd gemeten door de personen met COPD en de controlegroep te vragen naar de duur, intensiteit en verschillen tussen zomer en winter in het stoken van hout en kolen. Het grootste gedeelte van de personen werd na hun achttiende niet meer blootgesteld. Gemiddeld waren de personen met COPD langer blootgesteld aan hout- en kolenrook (21 jaar) vergeleken met de controlegroep (11 jaar). Het onderzoek toonde een relatie aan tussen COPD en blootstelling aan houtrook en rook afkomstig

van kolenkachels gecorrigeerd voor leeftijd en rookgedrag. Ook bleek dat hoe hoger de duur en intensiteit van de blootstelling was geweest, hoe groter de kans op COPD. Dit wordt een ‘dosis-respons-relatie’ genoemd. Een oorzakelijk verband is waarschijnlijker wanneer een dosis-respons-relatie wordt aangetroffen. Echter, alleen de combinatie van houtrook en rook afkomstig van kolenkachels bleek statistisch significant geassocieerd met COPD. Houtrook en kolenrook bleken afzonderlijk niet gerelateerd aan COPD. Een nadeel van dit onderzoek is dat, omdat blootstelling zelfgerapporteerd is, de personen met COPD door hun aandoening eerder geneigd kunnen zijn om blootstelling aan houtrook en rook afkomstig van kolenkachels te rapporteren dan de controlegroep (herinneringsbias).

In een *cross-sectioneel* onderzoek uit Montana, Amerika werden in totaal 397 kinderen onderzocht (Noonan en Ward, 2007). Een houtkachel was de belangrijkste bron van verwarming voor 33% van de 397 kinderen. Daarvan had 7.1% (n=10) last van een piepende ademhaling tijdens de vier weken dat het onderzoek duurde. Het gebruik van een houtkachel als belangrijkste bron van verwarming was niet geassocieerd met piepende ademhaling. Omdat tijdens de studieperiode lage temperaturen voorkwamen, namen de onderzoekers aan dat de houtkachels werden gebruikt. Er werd echter geen navraag gedaan naar de intensiteit of frequentie van gebruik. Het excluderen van huishoudens waar binnen gerookt werd beïnvloedde de resultaten niet. Het aantal onderzochte personen was echter relatief klein, wat de resultaten minder betrouwbaar maakt. Daarnaast is het mogelijk dat juist de houtkachel al was vervangen in huishoudens waar kinderen met piepende adem woonden.

Van Miert et al. (2012) vonden een relatie tussen het ontwikkelen van astma (door een arts vastgesteld), hooikoorts en pollenallergie met het wonen in huizen verwarmd door een houtkachel of open haard bij 744 niet-rokende scholieren in België. De ouders werden ondervraagd over de omstandigheden thuis, zoals het wonen in een huis dat verwarmd werd door een houtkachel of open haard, aanwezigheid van huisdieren, leeftijd en geboortegewicht van hun kind en allergieën bij familieleden. De scholieren die woonden in huizen die werden verwarmd door een houtkachel of open haard hadden vaker astma, hooikoorts en pollenallergie. Er was geen informatie bekend over hoe vaak de houtkachel of open haard werd gebruikt en of het de voornaamste bron van verwarming was.

In een onderzoek zijn gegevens van 6112 kinderen geanalyseerd (Tin Tin et al., 2016). Die gegevens werden verzameld door de moeder te interviewen op verschillende momenten, namelijk tijdens de zwangerschap en wanneer het kind negen maanden, twee jaar en 4.5 jaar oud was. Tijdens de interviews werden de moeders geïnterviewd over de gezondheid van het kind en hoe het huis verwarmd werd. Informatie over opname in het ziekenhuis voor acute respiratoire infecties was afkomstig van een nationale ziekenhuisregistratie. Van de huishoudens gebruikte 28% een houtkachel om de woning te verwarmen. Vijf procent van de huishoudens gebruikte een houtkachel als verwarmingsbron in de slaapkamer van het kind. Het risico op een ziekenhuisopname voor acute respiratoire infecties was lager in huishoudens waar houtkachels als verwarmingsbron werden gebruikt dan

in huishoudens waar geen houtkachel gebruikt werd. Een van de beperkingen van het onderzoek die de auteurs noemen is dat de blootstelling aan houtrook niet gemeten was.

Een onderzoek is uitgevoerd tussen november 2011 en februari 2016 bij oorspronkelijke bewoners van Alaska ('*native Alaskan households*') (Singleton et al., 2017). In totaal werden huishoudens met één of meer kinderen tussen de één en twaalf jaar oud met een chronische respiratoire aandoening onderzocht (n=72) en n=141 kinderen zonder chronische respiratoire aandoening. Een chronische respiratoire aandoening werd gedefinieerd als een ernstige of chronische longziekte (zoals astma en terugkerende longontsteking) waarmee het kind in de twaalf maanden voor het invullen van de vragenlijst minstens vier keer was behandeld of minstens één keer was opgenomen. Ouders of verzorgers vulden een vragenlijst in over respiratoire gezondheid. De kinderen met een chronische respiratoire aandoening die in een huishouden woonden waar een houtkachel de voornaamste bron van verwarming was, hoestten vaker tussen verkoudheden in (OR=3.18; p=0.027), vergeleken met de kinderen die niet in een woning woonden waar een houtkachel de voornaamste bron van verwarming was. Daarbij is gecorrigeerd voor het hebben van een chronische respiratoire aandoening. Er was geen informatie bekend over hoe vaak de houtkachel werd gebruikt.

In een *cross-sectioneel* onderzoek in West-Australië (de Kwinana-regio) werd de longfunctie van kinderen tussen de vijf en twaalf jaar (n=591) onderzocht (Boeyen et al., 2017). Bij een deel van de kinderen werd een longfunctietest afgenomen (n=360). De ouders vulden een vragenlijst in over kenmerken van het huis en de gezondheid van de luchtwegen en longen van het kind. Het bleek dat de kinderen een betere longfunctie hadden als hun huis verwarmd werd door hout vergeleken met het niet gebruiken van hout voor verwarming. Dit resultaat was onverwacht; de auteurs hadden een slechtere longfunctie verwacht. Bovendien waren de gevonden associaties zeer klein. Hun onderzoek toont ook aan dat de longfunctie beter was bij alle kinderen die woonden in een huis met een verwarmingsbron, vergeleken met kinderen die woonden in een huis zonder enige vorm van verwarmingsbron. Daarom bediscussiëren zij dat de gevonden verbanden mogelijk te verklaren zijn doordat het kunnen verwarmen van de woning mogelijk goed is voor de longfunctie.

In een literatuur-review uitgevoerd door Rokoff et al. (2017) wordt geconcludeerd dat er geen consistent verband is gevonden tussen het gebruik van houtkachels voor verwarming en ademhalingsklachten en aandoeningen aan de luchtwegen en longen bij kinderen in ontwikkelde landen. De auteurs bediscussiëren dat de gevonden studies meestal gebruikmaakten van door de deelnemers zelf gerapporteerd gebruik van een houtkachel, waardoor de blootstelling niet nauwkeurig is bepaald. Ook werden belangrijke vertekenende factoren, zoals sociaaleconomische status, niet altijd meegenomen in de verschillende studies, wat kan leiden tot vertekende resultaten.

In een literatuur-review uitgevoerd door Sigsgaard et al. (2015) wordt geconcludeerd dat epidemiologische studies suggereren dat er negatieve gezondheidseffecten zijn van blootstelling aan korte-termijn- en lange-

termijn-rook van brandstoffen, waaronder hout, in ontwikkelde landen. In de studies die in de review waren opgenomen werd echter niet alleen houtrook onderzocht, maar ook rook afkomstig van de verbranding van andere materialen. Verder richtte de review zich niet alleen op het gebruik van hout of andere brandstoffen voor verwarming, maar ook voor koken.

Samenvatting
In een recente review van Rokoff et al. (2017) wordt geen consistent verband gevonden tussen het gebruik van houtkachels voor verwarming en ademhalingsklachten en aandoeningen aan de luchtwegen en longen bij kinderen. Ook de resultaten van de onderzoeken in dit rapport laten wisselende resultaten zien. In de meeste van de geselecteerde onderzoeken is er beperkte of geen informatie over de blootstelling, of is de blootstelling zelfgerapporteerd. Veelal is de intensiteit van gebruik, het type hout, het type houtkachel/open haard, hoe dicht men bij de verwarmingsbron was en hoe goed de ruimte geventileerd is niet bekend. Ook in de review van Rokoff et al. (2017) wordt geconcludeerd dat de blootstelling meestal niet nauwkeurig is en door zelfrapportage is gemeten.

3.4.2 *Kanker*

Lissowska et al. (2005) onderzochten 2,861 personen (77.1% was man) die tussen 1998-2001 gediagnostiseerd waren met longkanker op 20- tot 79-jarige leeftijd. Personen zonder longkanker fungeerden als controlegroep (n=3.118, 73.9% was man). De onderzochte personen woonden in Tsjechië, Hongarije, Polen, Roemenië, Rusland, Slowakije en het Verenigd Koninkrijk tussen 1998 en 2002. Met behulp van interviews werden de onderzochte personen geïnterviewd over zaken als rookgedrag, werk, woonsituatie, gebruik van brandstoffen voor koken en verwarming en gezondheid. Longkanker kwam vaker voor bij mensen die ooit hout en nooit kolen hadden gebruikt voor exclusief de verwarming, vergeleken met mensen die nooit hout of kolen hadden gebruikt voor zowel verwarming als om mee te koken (OR: 1.31; CI: 1.06-1.61). De analyses waren gecorrigeerd voor land, leeftijd, opleidingsniveau en rookgedrag. Ook vonden de onderzoekers dat personen die voor meer dan 50% van hun leven hout gebruikten voor verwarming, vaker longkanker hadden, vergeleken met mensen die nooit hout of kolen hadden gebruikt voor zowel verwarming als om mee te koken (OR: 1.35; CI: 1.12-1.64). Deze associatie verdween echter wanneer de onderzoekers in hun analyses rekening hielden met hoe lang iemand hout of kolen had gebruikt voor *koken*. De betekenis van deze resultaten is moeilijk te duiden. Wat betreft de bepaling van de blootstelling was niet bekend hoeveel tijd iemand daadwerkelijk in de buurt van de verwarmingsbron had doorgebracht, en hoe de ruimte werd geventileerd (Akunne et al., 2006). Daarnaast was niet bekend of verwarmd werd met een open haard of houtkachel.

Ramanakumar et al. (2007) onderzochten of er een verband was tussen hout- en kolenrook en longkanker. Een groep van 739 mannen en 466 vrouwen in Canada (tussen de 35-75 jaar) waarbij longkanker was geconstateerd door een arts werd onderzocht. De controlegroep bestond uit 925 mannen en 616 vrouwen zonder longkanker, geselecteerd uit de algemene bevolking. De deelnemers werden geïnterviewd door getrainde

interviewers aan de hand van een standaard vragenlijst. De blootstelling werd bepaald door te vragen of ze gedurende hun leven gewoond hebben in een woning die verwarmd werd door een hout- of kolenkachel. Het bleek dat vrouwen die hadden gewoond in een woning die verwarmd werd door een hout- of kolenkachel vaker longkanker hadden. Of dit verband bestond voor houtrook of kolenrook of beide is niet bekend, omdat hout- en kolenrook gezamenlijk zijn onderzocht. Daarnaast was geen informatie bekend over de intensiteit of duur van blootstelling. Mannen die gewoond hadden in een woning die verwarmd werd door een hout- of kolenkachel hadden niet vaker longkanker. Een mogelijke verklaring is dat vrouwen meer blootgesteld waren aan rook doordat zij meer tijd in huis doorbrengen dan mannen, die vaker buitenshuis werken.

Greenop et al. (2015) vroegen aan 306 Australische vrouwen met een kind met een hersentumor en 950 Australische vrouwen met een kind zonder een hersentumor hoe vaak per maand zij de houtkachel of open haard gebruikten in de twaalf maanden voor hun zwangerschap, tijdens de zwangerschap en in de periode tot de diagnose van een hersentumor. De auteurs rapporteren dat kinderen vaker een hersentumor hadden wanneer hun moeder voor en tijdens de zwangerschap (RR: 1.51; CI: 1.05-2.15) en na de geboorte van het kind (RR: 1.44; CI:1.03-2.01) gebruikmaakte van een houtkachel, vergeleken met kinderen van moeders die geen gebruikmaakten van een houtkachel of open haard. Volgens de auteurs zouden vluchtige organische stoffen zoals benzeen in houtrook hier een rol kunnen spelen. Dosis-response-relaties met het aantal keer per maand dat de kachel of open haard werd gebruikt, konden echter niet statistisch aangetoond worden, wat een causaal verband minder waarschijnlijk maakt. Met het gebruik van een open haard werd geen verband gevonden. Een verklaring die de auteurs noemen is dat de uitstoot van een gesloten kachel mogelijk onder andere meer VOS's bevat, doordat er meer onvolledige verbranding plaatsvindt. Een andere verklaring is dat de mensen uit dit onderzoek met een open haard deze een stuk minder vaak gebruikten. Dit is het eerste onderzoek dat de relatie bekijkt tussen blootstelling aan houtkachels van de ouders en hersentumoren bij kinderen.

Samenvatting
Op basis van bovenstaande onderzoeken kan geen conclusie worden getrokken over de invloed van houtrook op de ontwikkeling van kanker. Er is nog weinig onderzoek uitgevoerd en de resultaten waren inconsistent. Net als bij de onderzoeken beschreven in paragraaf 3.4.1 was de blootstelling beperkt gemeten. Er werd bovendien niet altijd onderscheid gemaakt tussen het gebruik van hout of kolen (Lissowska et al., 2005; Ramanakumar et al., 2007).

3.4.3 (Terugkerende) middenoorontsteking

In één onderzoek werd het verband onderzocht tussen het gebruik van een houtkachel of open haard en (terugkerende) middenoorontsteking (otitis media) (Pettigrew et al., 2004). De onderzoekers onderzochten 904 zwangere vrouwen die woonden in huizen waar niet gerookt werd en die waren bevallen tussen 1993 en 1995 in twaalf verschillende ziekenhuizen in Connecticut en Virginia. Het voorkomen van (terugkerende) middenoorontsteking bij de kinderen werd bepaald door elke twee weken een telefonisch interview af te nemen waarin onder andere gevraagd

werd naar diagnoses gemaakt door artsen en de bron van verwarming in huis. Wanneer er meer dan 21 dagen zaten tussen twee episodes van middenoorontsteking werd de episode als uniek beschouwd. Als er vier of meer episodes in één jaar plaatsvonden, werd de middenoorontsteking als terugkerend beschouwd. Er werd geen verband gevonden tussen het gebruik van een houtkachel of open haard en (terugkerende) middenoorontstekingen bij kinderen.

3.5 Maatregelen voor verbetering binnenlucht

3.5.1 Vervanging oude houtkachels door gecertificeerde kachels

In verschillende studies zijn de effecten onderzocht van het vervangen van oude houtkachels door gecertificeerde kachels. US EPA[1]-gecertificeerde kachels produceren minder rook dan niet-gecertificeerde kachels, en ze zijn ongeveer 30 procent efficiënter.

Allen et al. (2011) onderzochten de invloed van vervanging van oude houtkachels door EPA-gecertificeerde houtkachels in vijftien huizen in Canada op de aanwezigheid van PM2,5 en levoglucosan, een marker voor houtrook, in de binnenlucht. Het vervangen van de kachels zorgde niet voor een verbetering van de kwaliteit van de binnenlucht.

Ward et al. (2008) onderzochten in Libby, Montana in de Verenigde Staten de effecten van vervanging van zestien houtkachels door nieuwe EPA-gecertificeerde modellen in de winter van 2006/2007. Gemiddelde PM2,5 en maximale PM2,5-concentraties in de binnenlucht namen met 71% en 76% af en levoglucosan nam af met 45%.

Noonan et al. (2012) onderzocht de effecten van vervanging van houtkachels door nieuwe EPA-gecertificeerde houtkachels in Libby, Montana, in de Verenigde Staten. In een onderzoek uitgevoerd in 2015 onderzocht Ward et al. (2017) de vervanging van houtkachels en de toepassing van luchtzuiveraars in de ruimte van de houtkachel en in de slaapkamer. Beide onderzoeken hebben gebruiktgemaakt van gegevens van het ARTIS (*Asthma Randomized Trial of Indoor Wood Smoke*)-onderzoek. Van de 98 in het onderzoek geïncludeerde huizen werden in zestien huizen de houtkachels vervangen door EPA-gecertificeerde modellen, in 42 huizen werden luchtfilters geplaatst en in de overige veertig huizen werden geen aanpassingen gedaan. In het onderzoek werd geen afname van fijn stofconcentraties gemeten in huizen waar alleen de kachels vervangen waren door gecertificeerde modellen. In eerder gerapporteerd onderzoek vonden de onderzoekers in de winter van 2006/2007 een afname van 70% van PM2,5 in de binnenlucht (Ward et al., 2008). In metingen in de winters van 2007/2008 en 2008/2009 vonden de onderzoekers een gemiddelde afname in 21 huizen van 53% van de PM2,5-concentraties in de binnenlucht. In vijf van de 21 huizen verminderde de PM2,5-concentratie niet. Ook is er een reductie gevonden van roet (39%), elementair koolstof en levoglucosan (circa 40%). Daarentegen namen concentraties van harszuren (met name dehydroabiëtinezuur en abiëtinezuur) toe. Een verklaring hiervoor kan zijn dat de verbrandingstemperatuur in de nieuwe houtkachels hoger is. In alle huizen verbeterde de luchtkwaliteit. Noonan et al. (2012) concluderen dat de gevonden verschillen in de jaren en de grote variatie

[1] United States Environmental Protection Agency

tussen de huizen voor en na vervanging van de kachel afhankelijk lijken te zijn van andere factoren dan de introductie van een gecertificeerde kachel alleen. De variatie in gemeten concentraties kan veroorzaakt zijn door het niet goed gebruiken van de kachel, waardoor de verbrandingstemperatuur te laag is, het gebruik van nat stookhout, het koken met een houtoven en het gebruik van schoonmaakmiddelen.

In een onderzoek uitgevoerd in 2015 onderzocht Ward et al. (2017) de vervanging van houtkachels en de toepassing van luchtzuiveraars in de ruimte van de houtkachel en in de slaapkamer. Gebruik werd gemaakt van gegevens van het ARTIS (*Asthma Randomized Trial of Indoor Wood Smoke*) onderzoek. Van de 98 in het onderzoek geïncludeerde huizen werden in zestien huizen de houtkachels vervangen door EPA-gecertificeerde modellen, in 42 huizen werden luchtfilters geplaatst en in de overige veertig huizen werden geen aanpassingen gedaan. In dit onderzoek werd geen afname van fijn stofconcentraties gemeten in huizen waar alleen de kachels vervangen waren door gecertificeerde modellen.

Samenvattend: Er zijn aanwijzingen dat vervangen van oude houtkachels door nieuwe (EPA-gecertificeerde modellen) kan bijdragen aan verbetering van de binnenluchtkwaliteit, maar dit is niet in alle gevallen zo.

3.5.2 Plaatsen van luchtfilters

De effecten van het plaatsen van luchtfilters zijn de afgelopen jaren regelmatig bestudeerd. In onderstaande onderzoeken zijn losstaande luchtreinigers geplaatst met een luchtfilter. Deze luchtreinigers zorgen voor een luchtstroom in de ruimte, dus niet voor een filtering van de lucht die van buiten naar binnen komt. De luchtstroom wordt door het filter in de luchtreiniger geleid.

Barn et al. (2008) concluderen dat toepassing van een luchtfilter, geplaatst in een Air Cleaner (HEPA-filter) in de slaapkamer, de PM2,5-concentraties binnenshuis doet afnemen. Dit onderzoek is uitgevoerd in negentien huizen in de winter van 2004 in Canada. De gemiddelde infiltratiefactor (een maat voor hoeveel PM2,5 van buiten in de binnenlucht blijft) van PM2,5 binnenshuis verminderde van 0,27 ± 0,18 (zonder HEPA-filter) naar 0,10 ± 0,08 (met HEPA-filter).

Afname van PM2,5-concentraties wordt ook bevestigd in het onderzoek van Hart et al. (2011). De onderzoekers onderzochten het effect van het plaatsen van een elektrostatisch luchtfilter in twee huizen met niet-EPA-gecertificeerde houtkachels uit 1970 en 1976. In beide huizen werd minder PM2,5 gemeten. Er vond een afname plaats van 61-85%.

Allen et al. (2011) onderzochten de effecten van het plaatsen van een HEPA-filter in de woonkamer en een stiller model in de slaapkamer. De filters werden geplaatst in 25 huizen in Canada, waarvan dertien huizen een houtkachel (niet gespecificeerd model) gebruikten. Ook Allen et al. (2011) vonden een reductie van binnenluchtconcentraties (60% voor PM2,5 en 75% voor levoglucosan).

Wheeler et al. (2014) zagen een afname van PM2,5 en levoglucosan-concentraties na plaatsing van elektrostatische filters in 21 woningen met houtkachel in Canada. Er vond 52% reductie van PM2,5 in de binnenlucht met gebruik van de filters en een afname van 36% levoglucosan plaats.

Ward et al. (2015) bestudeerden de effecten van vervanging van houtkachels gecombineerd met toepassing van elektrostatischte luchtzuiveraars in de ruimte van de houtkachel en in de slaapkamer, zoals beschreven in paragraaf 3.5.1. Hij vond geen verschillen in PM2,5-concentraties in huizen waar de kachel vervangen was, maar wel een afname van 68% van PM2,5 in de huizen waar een filter geplaatst was.

Kajbafzadeh et al. (2015) plaatsten gedurende zeven dagen bij twintig personen in Canada een luchtreiniger met HEPA-filter in de woonkamer en slaapkamer en gedurende zeven dagen een luchtreiniger zonder filter. De onderzoekers vonden dat PM2,5 in de binnenlucht 48% lager was wanneer een HEPA-filter werd geplaatst (PM2,5=3.4 µg/m^3), vergeleken met PM2,5 in de binnenlucht zonder HEPA-filter (PM2,5=6.5 µg/m^3). De verlaging van levoglucosan bleek minder consequent, mogelijk omdat de levoglucosan-concentratie relatief hoog was ten tijde van het in werking zijn van de HEPA-filter.

Onderzoek is door McNamara et al. (2017) gedaan in 48 huizen in Amerika waarin niet-EPA-gecertificeerde houtkachels als primaire verwarmingsbron werden gebruikt. Het onderzoek bestond uit het plaatsen van elektrostatische filters ('*in-room air filtration units with high efficiency filters*') in 23 huizen en placebofilters in 25 huizen ('*in-room air filtration units with lower effeciency fiberglass filter* (i.e. placebo)'). Metingen zijn uitgevoerd gedurende twee winters. De PM2,5 binnenlucht-concentratie verminderde met 66% vergeleken met de binnenlucht in woningen met placebofilters. De PMc (*course Particulare Matter*; fijn stof wordt PMc genoemd als het kleinere deeltjes zijn dan PM10 en groter zijn dan PM2,5) binnenlucht-concentratie verminderde in zowel de huizen met actieve filter als de huizen met placebofilter.

Samenvattend: In alle hier genoemde onderzoeken blijkt dat het plaatsen van een luchtfilter de binnenluchtkwaliteit verbetert. De PM2,5-concentraties verminderden met 37 tot 85% en concentraties levoglucosan met 36 tot 75%.

3.5.3 Voorlichting en instructie stoken

In deze literatuurstudie zijn geen publicaties gevonden van studies die zich specifiek richtten op de effecten van voorlichting en instructie over het gebruik van een houtkachel.

In een studie van Piccardo et al. (2014) bleek dat de BTEX-concentraties binnenshuis afnamen na het instrueren van bewoners. In het eerste jaar vonden de onderzoekers tijdens het stoken in de winter een toename van concentraties van BTEX in negen huizen in Italië met houtkachels. Deze toename bleek onder andere het gevolg te zijn van andere bronnen in huis. Deze andere bronnen waren onder andere het schilderen binnenshuis, het gebruik van oplosmiddelen en het branden van wierook. Na instructie van bewoners over de wijze van stoken en ventilatie namen de BTEX-concentraties binnenshuis het tweede jaar af, ondanks een strengere winter waarin meer gestookt werd.

4 Conclusies

In dit rapport is met behulp van literatuuronderzoek getracht antwoord te geven op onderzoeksvragen over de luchtkwaliteit in woningen waar hout wordt gestookt en over de gezondheid van bewoners van deze woningen. Er is relatief weinig wetenschappelijke literatuur over dit onderwerp gepubliceerd. Het aantal studies waarin daadwerkelijk metingen in de binnenlucht van huizen zijn uitgevoerd is beperkt. Verder zijn er geen Nederlandse studies beschikbaar om de situatie in Nederland goed te kunnen beoordelen. Hieronder is per onderzoeksvraag beschreven wat er bekend is in de wetenschappelijke literatuur.

Welke stoffen komen er vrij bij het stoken?
Houtrook bestaat uit een mix van chemische stoffen. Naast CO_2 en water bevat houtrook voornamelijk fijn stof, anorganische gassen zoals koolmonoxide en stikstofoxiden, vluchtige organische stoffen (onder andere benzeen, styreen, 1,3 butadieen), polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's, waaronder benzo(a)pyreen), aldehyden, fenolen en quinonen (zoals formaldehyde) en organische zuren. Meerdere stoffen die vrijkomen bij houtverbranding worden aangegeven in een literatuurstudie van Naeher et al. (2007).

Zijn er normen en worden deze overschreden?
Er zijn Europese grenswaarden opgesteld voor de buitenlucht. Voor de binnenlucht zijn er echter geen wettelijke grenswaarden. In 2006 heeft de WHO advieswaarden gepubliceerd voor buitenlucht (WHO, 2006) en in 2010 voor een beperkt aantal stoffen specifiek voor binnenlucht (WHO, 2010). In 2004 zijn door het RIVM gezondheidkundige advieswaarden (GAW) voor binnenlucht in woningen afgeleid voor een aantal chemische en fysische agentia. De GAW's worden vooral gebruikt om de kwaliteit van het binnenmilieu te beoordelen. Ze hebben geen wettelijke status. Voor CO, CO_2 en NO_2 zijn in de onderzochte studies de GAW's niet overschreden. Voor fijn stof en andere stoffen (vluchtige organische stoffen, PAK's) zijn in een aantal, maar niet in alle studies overschrijdingen gemeten. Echter, de in de onderzoeken gemeten concentraties zijn niet altijd te vergelijken met GAW's omdat ze zijn weergegeven in verschillende middelingstijden (jaargemiddelden, daggemiddelden, uurgemiddelden etc.). Bij vergelijking dient men hier rekening mee houden. Zo is het mogelijk dat concentraties stoffen tijdens het stoken tijdelijk verhoogd zijn, maar gemiddeld over een jaar niet de GAW overschrijden.

Worden er bij stokers meer schadelijke stoffen in huis aangetroffen dan bij niet-stokers?
Uit enkele epidemiologische studies blijkt dat er bij woningen waar hout wordt gestookt, vergeleken met woningen waar geen hout wordt gestookt, vaker verhoogde concentraties fijn stof, vluchtige organische stoffen (VOS) en polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) zijn gemeten. De betekenis daarvan voor de gezondheid valt buiten het bestek van deze literatuurstudie, maar het geeft wel aan dat in woningen waar hout wordt gestookt de bewoners hoger blootgesteld kunnen worden aan schadelijke stoffen. Overigens zijn er ook studies die geen

verhoging laten zien. Welke oorzaken aan de verschillen ten grondslag liggen, kon niet uit de rapportages achterhaald worden. Niet in alle studies zijn concentraties buitenlucht gemeten. De concentraties in de binnenlucht zijn mede afhankelijk van de concentraties buiten, maar hoe en of dit de resultaten heeft beïnvloed is onduidelijk.

Wat is er bekend over verschillen in gezondheid tussen stokers en niet-stokers?
De epidemiologische literatuur over de invloed van houtrook in de binnenlucht op allergieën, ademhalingsklachten en aandoeningen aan luchtwegen en longen is niet eenduidig: tegenstrijdige resultaten zijn gevonden. Bovendien is de blootstelling nog zeer beperkt gemeten. De epidemiologische onderzoeken die in dit rapport zijn samengevat, zijn namelijk gebaseerd op zelfgerapporteerd gebruik van houtkachel of open haard en in de meeste studies is de intensiteit van gebruik, dat wil zeggen de frequentie en duur van gebruik, niet nagevraagd. De hieruit resulterende onnauwkeurige bepaling van blootstelling kan de sterkte van een verband met gezondheid beïnvloeden. Ook voor de gezondheidsmaten geldt dat het veelal zelfgerapporteerde klachten zijn. Hierbij kunnen vertekeningen door '*responder*'- of herinneringsbias zijn opgetreden. Objectievere maten als doktersdiagnoses, longfunctiemetingen en blootstellingsmarkers zijn slechts sporadisch gebruikt.

Over de invloed van houtrook op de ontwikkeling van longkanker en hersentumoren bij stokers kan op basis van de gevonden literatuur geen conclusie worden getrokken. Er zijn nog te weinig onderzoeken uitgevoerd, die bovendien inconsistente resultaten laten zien. De blootstelling is daarnaast beperkt gemeten, waarbij in sommige analyses het gebruik van hout en kolen tezamen is onderzocht.

Zijn er effectieve maatregelen om blootstelling te verminderen?
Er zijn aanwijzingen dat het vervangen van oude houtkachels door gecertificeerde modellen met een efficiëntere verbranding die minder rook produceren kan bijdragen aan verbetering van de luchtkwaliteit. Dit is echter geen consistente bevinding, en andere factoren lijken ook een rol te spelen. Over welke factoren dat zijn geeft de literatuur geen uitsluitsel.

Het plaatsen van mobiele luchtfilters in onder andere woon- en slaapkamers draagt wel bij aan een verlaging van de concentraties PM2,5 en levoglucosan (een indicator voor houtrook). Er is beperkt bewijs uit één klein onderzoek (Piccardo et al. 2014) dat stookgedrag van invloed is op concentraties stoffen en fijn stof in de binnenlucht.

Samenvatting
Samenvattend kan op basis van het huidige literatuuroverzicht geen eenduidige uitspraak worden gedaan of, en in welke mate, het stoken van hout van invloed is op het binnenmilieu en de gezondheid van de stoker. Er komen uit dit verkennende onderzoek beperkte aanwijzingen dat concentraties schadelijke stoffen in de binnenlucht verhoogd kunnen zijn in woningen waar hout gestookt wordt. Veel van de in deze review opgenomen studies hebben echter beperkingen, onder andere kleine studiepopulaties en subjectieve metingen van blootstelling. De gepubliceerde onderzoeken laten een te divers beeld zien van de

studieresultaten, op basis waarvan een generieke uitspraak niet mogelijk is en voorbarig zou zijn. Dit kennishiaat kan alleen met aanvullend onderzoek gedicht worden. Daarnaast verdient het aanbeveling om de wetenschappelijke literatuuur te blijven volgen. Wat betreft maatregelen om blootstelling aan stoffen uit houtrook te verminderen, geeft het onderzoek aanwijzingen dat luchtzuiveraars in huis de luchtkwaliteit binnenshuis kunnen verbeteren.

5 Zoekstrategie

Zoekstrategie Gezondheidseffecten houtstook 2000-2015

Database: MEDLINE
1 ((wood adj2 smoke) or woodsmoke).tw.
2 ((wood adj2 heat*) or woodstove* or (wood adj stove*)).tw.
3 (((wood adj burn*) or (wood adj combust*)) and (domestic* or indoor or home or homes or house* or resident*)).tw.
4 Wood/
5 Smoke/ or Heating/
6 Air Pollution, Indoor/
7 (indoor or resident* or home or homes or house* or domestic*).tw.
8 (health* or disease* or respirat* or airway* or lung* or intratracheal* or pulmonar* or oxidative stress or inflammat* or pro-inflammat* or cardiovascular* or annoy*).tw.
9 Inhalation Exposure/
10 (exposure* or expose or exposed or adverse effect*).tw.
11 exp Respiratory system/ or exp Cardiovascular system/
12 1 or 2 or 3 or (4 and 5)
13 6 or 7
14 8 or 9 or 10 or 11
15 12 and 13 and 14
16 *Wood/ or *Smoke/ or *Heating/ or (wood smoke or woodsmoke or wood-smoke).ti.
17 12 and (9 or 10) and 14 and 16
18 15 or 17
19 limit 18 to yr=2000-current

Database: SCOPUS
(((TITLE-ABS-KEY((wood W/2 smoke) OR woodsmoke OR (wood W/2 heat*) OR woodstove or (wood-stove))) OR (TITLE-ABS-KEY((wood-burn* OR wood-combust*) AND (domestic* OR indoor OR home OR house*)))) AND (TITLE-ABS-KEY((indoor OR resident* OR home OR house OR domestic*))) AND (TITLE-ABS-KEY((health* OR respirat* OR airway* OR lung* OR intratracheal* OR pulmonar* OR oxidative-stress OR inflammat* OR cardiovascular* OR annoy*)))) OR (((TITLE-ABS-KEY((wood W/2 smoke) OR woodsmoke OR (wood W/2 heat*) OR woodstove or (wood-stove))) OR (TITLE-ABS-KEY((wood-burn* OR wood-combust*) AND (domestic* OR indoor OR home OR house*)))) AND (TITLE((exposure OR expose OR exposed))) AND (TITLE-ABS-KEY((health* OR respirat* OR airway* OR lung* OR intratracheal* OR pulmonar* OR oxidative-stress OR inflammat* OR cardiovascular* OR annoy*)))) AND PUBYEAR > 2000

Update Zoekstrategie Gezondheidseffecten houtstook 2015-2017

Database MEDLINE (Pubmed)
Search ((‘2015’[Date - Publication] : ‘3000’[Date - Publication])) AND #13
#13 Search (#10 OR #12)
#12 Search ((((#1 OR #2 OR #3)) AND (#7 OR #8)) AND (#6 OR #7 OR #8 OR #9)) AND #11
#11 Search ((Wood OR Smoke OR Heating[MeSH Major Topic])) OR (‘wood smoke’[Title] OR woodsmoke[Title] OR wood-smoke[Title])
#10 Search (((#1 OR #2 OR #3)) AND #4) AND (#6 OR #7 OR #8 OR #9)
#9 Search (respiratory system[MeSH Terms]) OR cardiovascular system[MeSH Terms]
#8 Search (exposure*[Text Word] OR expose[Text Word] OR exposed[Text Word] OR ‘adverse effect’[Text Word])
#7 Search inhalation exposure[MeSH Terms]
#6 Search ((health[Title/Abstract] OR disease*[Title/Abstract] OR respirat*[Title/Abstract] OR airway*[Title/Abstract] OR lung*[Title/Abstract] OR intratracheal*[Title/Abstract] OR pulmonar*[Title/Abstract] OR ‘oxidative stress’[Title/Abstract] OR inflammat*[Title/Abstract] OR pro-inflammat*[Title/Abstract] OR cardiovascular*[Title/Abstract] OR annoy*[Title/Abstract]))
#4 Search (air pollution, indoor[MeSH Terms]) OR (indoor[Text Word] OR resident*[Text Word] OR home[Text Word] OR homes[Text Word] OR house*[Text Word] OR domestic*[Text Word])
#3 Search (Wood[MeSH Terms]) AND (Smoke OR Heating[MeSH Terms])
#2 Search ((‘wood burning’[Title/Abstract] OR ‘wood combustion’[Title/Abstract])) AND (domestic*[Title/Abstract] OR indoor[Title/Abstract] OR home[Title/Abstract] OR house*[Title/Abstract])
#1 Search ((‘wood smoke’[Title/Abstract] OR woodsmoke[Title/Abstract] OR ‘wood heater’[Title/Abstract] OR ‘wood heaters’[Title/Abstract])) OR (‘wood heating’[Title/Abstract] OR woodstove[Title/Abstract] OR ‘wood stove’[Title/Abstract])

Database: embase (beschikbaar sinds 2017 bij het RIVM)
#19 #18 AND [2015-2018]/py
#18 #15 OR #17
#17 #12 AND (#9 OR #10) AND #14 AND #16
#16 'wood'/exp/mj OR 'smoke'/exp/mj OR 'heating' OR woodsmoke:ti OR 'wood smoke':ti
#15 #12 AND #13 AND #14
#14 #8 OR #9 OR #10 OR #11
#13 #6 OR #7
#12 #1 OR #2 OR #3 OR (#4 AND #5)
#11 'respiratory system'/exp OR 'cardiovascular system'/exp
#10 exposure*:ti,ab OR expose:ti,ab OR exposed:ti,ab OR 'adverse effect*':ti,ab
#9 'exposure'/exp/mj

#8 health* OR disease* OR respirat* OR airway* OR lung* OR intratracheal* OR pulmonar* OR 'oxidative stress' OR inflammat* OR 'pro inflammat*' OR cardiovascular* OR annoy*:ti,ab
#7 indoor:ti,ab OR resident*:ti,ab OR home:ti,ab OR homes:ti,ab OR house*:ti,ab OR domestic*:ti,ab
#6 'indoor air pollution'/exp
#5 'smoke'/exp OR 'heating'/exp
#4 'wood'/exp
#3 (wood NEXT/1 burn*):ti,ab OR (wood NEXT/1 combust*):ti,ab AND (domestic*:ti,ab OR indoor:ti,ab OR home:ti,ab OR homes:ti,ab OR house*:ti,ab OR resident*:ti,ab)
#2 (wood NEXT/2 heat*):ti,ab OR woodstove*:ti,ab OR (wood NEXT/1 stove*):ti,ab
#1 (wood NEXT/2 smoke):ti,ab OR woodsmoke:ti,ab

Database: SCOPUS
(((TITLE-ABS-KEY((wood W/2 smoke) OR woodsmoke OR (wood W/2 heat*) OR woodstove or (wood-stove))) OR (TITLE-ABS-KEY((wood-burn* OR wood-combust*) AND (domestic* OR indoor OR home OR house*)))) AND (TITLE-ABS-KEY((indoor OR resident* OR home OR house OR domestic*))) AND (TITLE-ABS-KEY((health* OR respirat* OR airway* OR lung* OR intratracheal* OR pulmonar* OR oxidative-stress OR inflammat* OR cardiovascular* OR annoy*)))) OR (((TITLE-ABS-KEY((wood W/2 smoke) OR woodsmoke OR (wood W/2 heat*) OR woodstove or (wood-stove))) OR (TITLE-ABS-KEY((wood-burn* OR wood-combust*) AND (domestic* OR indoor OR home OR house*)))) AND (TITLE((exposure OR expose OR exposed))) AND (TITLE-ABS-KEY((health* OR respirat* OR airway* OR lung* OR intratracheal* OR pulmonar* OR oxidative-stress OR inflammat* OR cardiovascular* OR annoy*)))) AND PUBYEAR > 2015

6 Literatuurlijst

Akunne, A.F., C. Kyobutungi, R. Sauerborn (2006) Re: 'Lung cancer and indoor pollution from heating and cooking with solid fuels: the IARC international multicentre case-control study in Eastern/Central Europe and the United Kingdom'. *Am J Epidemiol* 163: 392.

Allen, R.W., C. Carlsten, B. Karlen, S. Leckie, S. van Eeden, S. Vedal, I. Wong, M. Brauer (2011) An air filter intervention study of endothelial function among healthy adults in a woodsmoke-impacted community. *American Journal of Respiratory & Critical Care Medicine* 183: 1222-1230.

Barn, P., T. Larson, M. Noullett, S. Kennedy, R. Copes, M. Brauer (2008) Infiltration of forest fire and residential wood smoke: an evaluation of air cleaner effectiveness. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 18: 503-511.

Bartolomé, M., J.J. Ramos, F. Cutanda, O. Huetos, M. Esteban, M. Ruiz-Moraga, E. Calvo, B. Pérez-Gómez, O. González, A. Castaño, J.L. Aleixandre, N. Aragonés, A.I. Cañas, M. Cervantes-Amat, M.V. Cortés, J.A. Jimenez, G. López-Abente, A. López-Herranz, J. Mayor, C.F. Méndez, M.A. Molina, C. Navarro, M. Pollán, R. Pastor, J. Román (2015) Urinary polycyclic aromatic hydrocarbon metabolites levels in a representative sample of the Spanish adult population: The BIOAMBIENT.ES project. Chemosphere 135: 436-446.

Beckett, W.S., J.F. Gent, L.P. Naeher, K. Belanger, E.W. Triche, M.B. Bracken, B.P. Leaderer (2006) Peak expiratory flow rate variability is not affected by home combustion sources in a group of nonsmoking women. Arch Environ Occup Health 61: 176-182.

Belanger, K., W. Beckett, E. Triche, M.B. Bracken, T. Holford, P. Ren, J.E. McSharry, D.R. Gold, T.A. Platts-Mills, B.P. Leaderer (2003) Symptoms of wheeze and persistent cough in the first year of life: associations with indoor allergens, air contaminants, and maternal history of asthma. *Am J Epidemiol* 158: 195-202.

Boeyen, J., A.C. Callan, D. Blake, A.J. Wheeler, P. Franklin, G.L. Hall, C. Shackleton, P.D. Sly, A. Hinwood (2017) Investigating the relationship between environmental factors and respiratory health outcomes in school children using the forced oscillation technique. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 220: 494-502.

de Gennaro, G., P.R. Dambruoso, A. Di Gilio, V. di Palma, A. Marzocca, M. Tutino (2015) Discontinuous and continuous indoor air quality monitoring in homes with fireplaces orwood stoves as heating system. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 13.

Dusseldorp, A., M. van Bruggen (2007) Gezondheidkundige advieswaarden binnenmilieu, een update. RIVM-rapport 609021043/2007.

Eisner, M., E. Yelin, P. Katz, G. Earnest, P. Blanc (2002) Exposure to indoor combustion and adult asthma outcomes: environmental tobacco smoke, gas stoves, and woodsmoke. Thorax 57: 973-978.

Galbally, I.E., R.W. Gillett, J.C. Powell, S.J. Lawson, S.T. Bentley, I.A. Weeks (2009) Household wood heater usage and indoor leakage of BTEX in Launceston, Australia: A null result. *Atmospheric Environment* 43: 2788-2795.

GGD (2015) GGD Groningen in samenwerking met GGD Drenthe en GGD Fryslân Overlast door houtrook; onderzoek naar het meten van fijn stof als hulpmiddel bij het beoordelen van klachten over houtstook.

Greenop, K.R., A.L. Hinwood, L. Fritschi, R.J. Scott, J. Attia, L.J. Ashton, J.A. Heath, B.K. Armstrong, E. Milne (2015) Vehicle refuelling, use of domestic wood heaters and the risk of childhood brain tumours: Results from an Australian case-control study. *Pediatr Blood Cancer* 62: 229-234.

Groenwold, H., F. Woudenberg (2014) Stop de houtrookoverlast. Problemen met houtrook vragen om stevige maatregelen. *Tijdschrift Lucht September* 2014.

Gustafson, P., L. Barregard, B. Strandberg, G. Sallsten (2007) The impact of domestic wood burning on personal, indoor and outdoor levels of 1,3-butadiene, benzene, formaldehyde and acetaldehyde. *J Environ Monit* 9: 23-32.

Gustafson, P., C. Ostman, G. Sallsten (2008) Indoor levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in homes with or without wood burning for heating. *Environ Sci Technol* 42: 5074-5080.

Hagens, W.I., A.J.P. van Overveld, P.H. Fischer, M.E. Gerlofs-Nijland, F.R. Cassee (2011) Gezondheidseffecten van houtrook. RIVM Rapport 609300027/2011.

Hart, J.F., T.J. Ward, T.M. Spear, R.J. Rossi, N.N. Holland, B.G. Loushin (2011) Evaluating the effectiveness of a commercial portable air purifier in homes with wood burning stoves: a preliminary study. *J Environ Public Health* 2011: 324809.

Kajbafzadeh, M., M. Brauer, B. Karlen, C. Carlsten, S. van Eeden, R.W. Allen (2015) The impacts of traffic-related and woodsmoke particulate matter on measures of cardiovascular health: a HEPA filter intervention study. *Occup Environ Med* 72: 394-400.

Kilpelainen, M., M. Koskenvuo, H. Helenius, E. Terho (2001) Wood stove heating, asthma and allergies. *Respir Med* 95: 911-916.

Levesque, B., S. Allaire, D. Gauvin, P. Koutrakis, S. Gingras, M. Rhainds, H. Prud'Homme, J.F. Duchesne (2001) Wood-burning appliances and indoor air quality. *Sci Total Environ* 281: 47-62.

Lissowska, J., A. Bardin-Mikolajczak, T. Fletcher, D. Zaridze, N. Szeszenia-Dabrowska, P. Rudnai, E. Fabianova, A. Cassidy, D. Mates, I. Holcatova, V. Vitova, V. Janout, A. Mannetje, P. Brennan, P. Boffetta (2005) Lung cancer and indoor pollution from heating and cooking with solid fuels: the IARC international multicentre case-control study in Eastern/Central Europe and the United Kingdom. *Am J Epidemiol* 162: 326-333.

McNamara, M., J. Thornburg, E. Semmens, T. Ward, C. Noonan (2013) Coarse particulate matter and airborne endotoxin within wood stove homes. *Indoor Air* 23: 498-505.

McNamara, M., J. Thornburg, E.O. Semmens, T.J. Ward, C.W. Noonan (2017) Reducing indoor air pollutants with air filtration units in wood stove homes. *Science of the Total Environment* 592: 488-494.

Molnár, P., P. Gustafson, S. Johannesson, J. Boman, L. Barregård, G. Sällsten (2005) Domestic wood burning and PM2.5 trace elements: Personal exposures, indoor and outdoor levels. *Atmospheric Environment* 39: 2643-2653.

Naeher, L.P., M. Brauer, M. Lipsett, J.T. Zelikoff, C.D. Simpson, J.Q. Koenig, K.R. Smith (2007) Woodsmoke health effects: a review. *Inhal Toxicol* 19: 67-106.

Noonan, C.W., T.J. Ward (2007) Environmental tobacco smoke, woodstove heating and risk of asthma symptoms. *J Asthma* 44: 735-738.

Noonan, C.W., T.J. Ward, W. Navidi, L. Sheppard (2012) A rural community intervention targeting biomass combustion sources: effects on air quality and reporting of children's respiratory outcomes. *Occup Environ Med* 69: 354-360.

Orozco-Levi, M., J. Garcia-Aymerich, J. Villar, A. Ramirez-Sarmiento, J.M. Anto, J. Gea (2006) Wood smoke exposure and risk of chronic obstructive pulmonary disease. *Eur Respir J* 27: 542-546.

Pettigrew, M.M., J.F. Gent, E.W. Triche, K.D. Belanger, M.B. Bracken, B.P. Leaderer (2004) Infant otitis media and the use of secondary heating sources. *Epidemiology* 15: 13-20.

Piccardo, M.T., M. Cipolla, A. Stella, M. Ceppi, M. Bruzzone, A. Izzotti, F. Valerio (2014) Indoor pollution and burning practices in wood stove management. *J Air Waste Manag Assoc* 64: 1309-1316.

Ramanakumar, A.V., M.E. Parent, J. Siemiatycki (2007) Risk of lung cancer from residential heating and cooking fuels in Montreal, Canada. *Am J Epidemiol* 165: 634-642.

Rokoff, L.B., P. Koutrakis, E. Garshick, M.R. Karagas, E. Oken, D.R. Gold, A.F. Fleisch (2017) Wood Stove Pollution in the Developed World: A Case to Raise Awareness Among Pediatricians. Current *Problems in Pediatric and Adolescent Health Care* 47: 123-141.

Salthammer, T., T. Schripp, S. Wientzek, M. Wensing (2014) Impact of operating wood-burning fireplaces ovens on indoor air quality. *Chemosphere* 103: 205-211.

Semmens, E.O., C.W. Noonan, R.W. Allen, E.C. Weiler, T.J. Ward (2015) Indoor particulate matter in rural, wood stove heated homes. *Environ Res* 138: 93-100.

Semple, S., C. Garden, M. Coggins, K.S. Galea, P. Whelan, H. Cowie, A. Sanchez-Jimenez, P.S. Thorne, J.F. Hurley, J.G. Ayres (2012) Contribution of solid fuel, gas combustion, or tobacco smoke to indoor air pollutant concentrations in Irish and Scottish homes. *Indoor Air* 22: 212-223.

Sigsgaard, T., B. Forsberg, I. Annesi-Maesano, A. Blomberg, A. Bolling, C. Boman, J. Bonlokke, M. Brauer, N. Bruce, M.E. Heroux, M.R. Hirvonen, F. Kelly, N. Kunzli, B. Lundback, H. Moshammer, C. Noonan, J. Pagels, G. Sallsten, J.P. Sculier, B. Brunekreef (2015) Health impacts of anthropogenic biomass burning in the developed world. *Eur Respir J* 46: 1577-1588.

Singleton, R., A.J. Salkoski, L. Bulkow, C. Fish, J. Dobson, L. Albertson, J. Skarada, T. Kovesi, C. McDonald, T.W. Hennessy, T. Ritter (2017) Housing characteristics and indoor air quality in households of Alaska Native children with chronic lung conditions. *Indoor Air* 27: 478-486.

Thorn, J., J. Brisman, K. Toren (2001) Adult-onset asthma is associated with self-reported mold or environmental tobacco smoke exposures in the home. *Allergy* 56: 287-292.

Tin Tin, S., A. Woodward, R. Saraf, S. Berry, P. Atatoa Carr, S.M.B. Morton, C.C. Grant (2016) Internal living environment and respiratory disease in children: Findings from the Growing Up in New Zealand longitudinal child cohort study. Environmental Health: A Global Access Science Source 15.

Triche, E.W., K. Belanger, W. Beckett, M.B. Bracken, T.R. Holford, J. Gent, T. Jankun, J.E. McSharry, B.P. Leaderer (2002) Infant respiratory symptoms associated with indoor heating sources. *American Journal of Respiratory & Critical Care Medicine* 166: 1105-1111.

Triche, E.W., K. Belanger, M.B. Bracken, W.S. Beckett, T.R. Holford, J.F. Gent, J.E. McSharry, B.P. Leaderer (2005) Indoor heating sources and respiratory symptoms in nonsmoking women. *Epidemiology* 16: 377-384.

Van Miert, E., A. Sardella, M. Nickmilder, A. Bernard (2012) Respiratory effects associated with wood fuel use: a cross-sectional biomarker study among adolescents. Pediatr Pulmonol 47: 358-366.

Ward, T., C. Palmer, M. Bergauff, K. Hooper, C. Noonan (2008) Results of a residential indoor PM2.5 sampling program before and after a woodstove changeout. *Indoor Air* 18: 408-415.

Ward, T., E.O. Semmens, E. Weiler, S. Harrar, C.W. Noonan (2015) Efficacy of interventions targeting household air pollution from residential wood stoves. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 27: 64-71.

Weichenthal, S., A. Dufresne, C. Infante-Rivard, L. Joseph (2007) Indoor ultrafine particle exposures and home heating systems: a cross-sectional survey of Canadian homes during the winter months. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 17: 288-297.

Wheeler, A.J., M.D. Gibson, M. MacNeill, T.J. Ward, L.A. Wallace, J. Kuchta, M. Seaboyer, E. Dabek-Zlotorzynska, J.R. Guernsey, D.M. Stieb (2014) Impacts of air cleaners on indoor air quality in residences impacted by wood smoke. *Environ Sci Technol* 48: 12157-12163.

WHO (2006) Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global update 2005. Summary of risk assessment. .

WHO (2010) Guidelines for indoor air quality: selected pollutants. World Health Organization Regional Office for Europe. ISBN 978 92 890 0213 4.

WHO (2015) WHO report Residential heating with wood and coal: healh impacts and policy options in Europe and North America. ISBN 978 92 890 50760. URL: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0009/271836/ResidentialHeatingWoodCoalHealthImpacts.pdf.

Wyss, A.B., A.C. Jones, A.K. Bølling, G.E. Kissling, R. Chartier, H.J. Dahlman, C.E. Rodes, J. Archer, J. Thornburg, P.E. Schwarze, S.J. London (2016) Particulate matter 2.5 exposure and self-reported use of wood stoves and other indoor combustion sources in urban nonsmoking homes in Norway. PLoS ONE 11.

RIVM

De zorg voor morgen begint vandaag