

Schadelijkheid particuliere houtstook en optimaal gestookte eco- en pelletkachels erg onderschat

Februari 2022

Drs. I.N. Everhardus en ir. C.J.M. Anzion



Inleiding

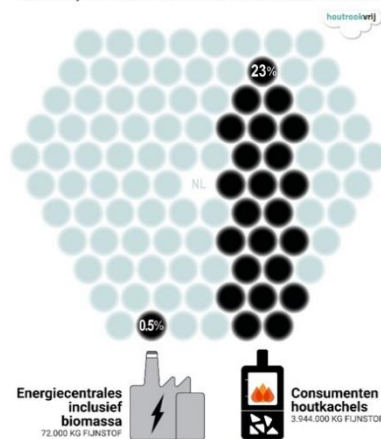
Particuliere houtstook is volgens het RIVM (2021) met 23% de grootste Nederlandse bron van **fijnstof PM2,5** (Particulate Matter kleiner dan 2,5 μm). Houtstook buitenshuis, in vakantiehuisjes en woonboten zijn daarbij niet meegerekend^{1,2}.

Meerdere onderzoeken toonden aan dat de PM2,5 uitstoot van houtkachels veel hoger ligt dan de emissiewaarden zoals die worden opgegeven door de fabrikant. In onrealistische laboratoriumtesten worden bijvoorbeeld de ontbrandingsfase, deelbelasting en het secundaire fijnstof niet meegerekend en wordt gestookt met ovengedroogd hout^{3,4,5,6}. De ernst van deze onderschatting is te vergelijken met het dieselschandaal, volgens de Duitse milieupert Axel Friedrich, betrokken bij de onthulling van de frauduleuze dieseltesten⁷. Het werkelijke aandeel van de particuliere houtstook aan het totale PM2,5 kan daarom veel hoger uitkomen dan de berekende 23%. Bovendien bevinden de emissies van particuliere houtstook zich op laag niveau en midden in woonwijken.

In onderstaande figuur worden de emissies van fijnstof door particuliere houtstook vergeleken met de emissies van alle andere Nederlandse bronnen. Zoals beschreven in dit document is de emissie van houtstook in werkelijkheid naar verhouding nog hoger.

Houtkachels versus energiecentrales

Aandeel fijnstof PM2.5 in de totale uitstoot in Nederland in 2020



©2021, houtstookvergelijk / graphic NL/IC vzw / bron: emissieregistratie RIVM 2020

Bron: RIVM Emissieregistratie 2020

Volgens het CBS gebruikte in 2018 13% van de huishoudens een houtkachel of open haard, meestal (80%) aanvullend als sfeerverwarming en vaak niet meer dan 1,2 of 3 dagen per week⁸.

Emissies

Recente metingen van Stichting Houtrookvrij tonen aan, dat een optimaal gestookte houtkachel en pelletkachel met elektrostatisch filter zeer veel **ultrafijnstof** (deeltjes <0,1 µm) uitstoten: 500.000 resp. 600.000 deeltjes/cm³.⁹ De Danish Ecological Council rapporteerde al in 2016 dat de Noorse eokachel (met betere kwalificaties dan die van de EU) 650.000 deeltjes/cm³ ultrafijnstof uitstoot¹⁰.

Een overzichtsonderzoek in Science concludeerde, dat moderne houtkachels door de hogere temperatuur wel minder totaal fijnstof (PM2,5) kunnen produceren, maar dan juist meer van het kleinere en veel schadelijker ultrafijnstof¹¹.

Particuliere houtstook levert volgens de Emissieregistratie ook de grootste bijdrage aan de atmosferische belasting door **PAK's**, die vervolgens uitregenen in ons oppervlaktewater, zo staat vermeld in de Nationale Analyse Waterkwaliteit¹². PAK's en dioxines uit houtstook worden door de overheid aangemerkt als Zeer Zorgwekkende Stoffen (ZZS) die zoveel mogelijk moeten worden geweerd uit de leefomgeving¹³.

Gezondheidsschade

Uit grote aantallen epidemiologische onderzoeken heeft de WHO dosis-effectrelaties vastgesteld voor de belangrijkste (dodelijke) gezondheidsschade door o.a. fijnstof met name PM2,5. Het toegenomen risico op overlijden bij langdurige blootstelling bedraagt 8% bij iedere 10 µg /m³ meer aan PM2,5¹⁴. Langdurende belasting met fijnstof bestaat in werkelijkheid altijd uit een complexe mix van vele componenten met diverse fysische en chemische eigenschappen die variëren afhankelijk van de combinaties van bronnen in de omgeving en de transformatie in de atmosfeer erna¹⁴. De bijdrage van houtstook en andere bronnen aan de sterfte door PM2,5 wordt meestal evenredig afgeleid aan de hand van de bijdragende emissies aan het PM2,5, hoewel er groeiend bewijs is dat het fijnstof uit houtstook relatief veel schadelijker is.

De European Environment Agency (EEA) berekende, dat PM2,5 verantwoordelijk is voor 84% van alle jaarlijkse vroegtijdige sterfgevallen t.g.v. luchtverontreiniging in Europa, namelijk 307.000 van de 364.200; NO₂ is verantwoordelijk voor 40.400 en O₃ voor 16.800 doden¹⁵.

In Nederland gaat het in totaal om 12.000 jaarlijkse vroegtijdige sterfgevallen door luchtverontreiniging¹⁶. Hoogleraar Lars Heinen (WUR) schat dat daarvan 900 tot 2700 worden veroorzaakt door houtrook¹⁷.

Het zijn de kleinste deeltjes uit het PM2,5, het ultrafijnstof (PM0,1), die niet alleen diep kunnen doordringen in de longen, maar vanwege de kleine diameter ook worden opgenomen in de bloedbaan, en zo in principe ieder ander orgaan in het lichaam kunnen bereiken, volgens de WHO en de Gezondheidsraad¹⁸.

Volgens een overzichtsstudie in Chest is chronische belasting met PM2,5 schadelijk voor de (afweercellen van) de luchtwegen, met als gevolg (meer) infecties van bijholten, oren en longen, meer hooikoorts, astma, hyperreactiviteit, chronische bronchitis, COPD (longfalen) en longkanker. Maar ook hoge bloeddruk, hartfalen, hart- en herseninfarcten en te klein en te vroeg geboren kinderen met onderontwikkelde longen en hersenschors met meer kans op ontwikkelings-problemen worden in verband gebracht met PM2,5. Verder is er een relatie met cognitieve achteruitgang, psychiatrische ziekten (zoals schizofrenie, depressies en persoonlijkheidsstoornissen), dementie, de ziekte van Parkinson, diabetes, obesitas, reuma, darm- en leverontsteking, botontkalking, eczeem en allerlei soorten kankers^{19,20,21}.

Ook Covid-19 verliep volgens een Harvard onderzoek uit 2020, ernstiger bij hogere concentraties PM2,5: 11% meer sterfte bij iedere toename van 1 microgram PM2,5²².

Van alle te klein (en te vroeg) geboren kinderen is volgens het RIVM 37% gerelateerd aan het fijnstof PM2,5²³. Te klein (en te vroeg) geboren kinderen hebben niet alleen onderontwikkelde longen en ontwikkelen meer luchtwegproblemen zoals longontsteking en astma. Zij hebben ook meer te kampen met leer- en gedragsproblemen zoals problemen met de prikkelverwerking, concentratie, geheugen en

impulscontrole zoals die voorkomen bij ADHD en autisme^{24,25}. Zelfs bij niet te klein (en te vroeg) geboren kinderen is er in Nederlands onderzoek een relatie gevonden tussen de fijnstofbelasting in de zwangerschap en een kleinere hersenschors en minder goede impulscontrole²⁶. Bij Amerikaans onderzoek werd een verhoogde (prenatale) blootstelling aan polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) gerelateerd aan veranderingen in de witte stof van de hersenen die samenhangen met een tragere informatieverwerking, ADHD en gedragsproblemen²⁷. De onderzoekers stelden dat de vastgestelde cognitieve beperkingen op deze jonge leeftijd significante consequenties op de lange termijn kunnen hebben.

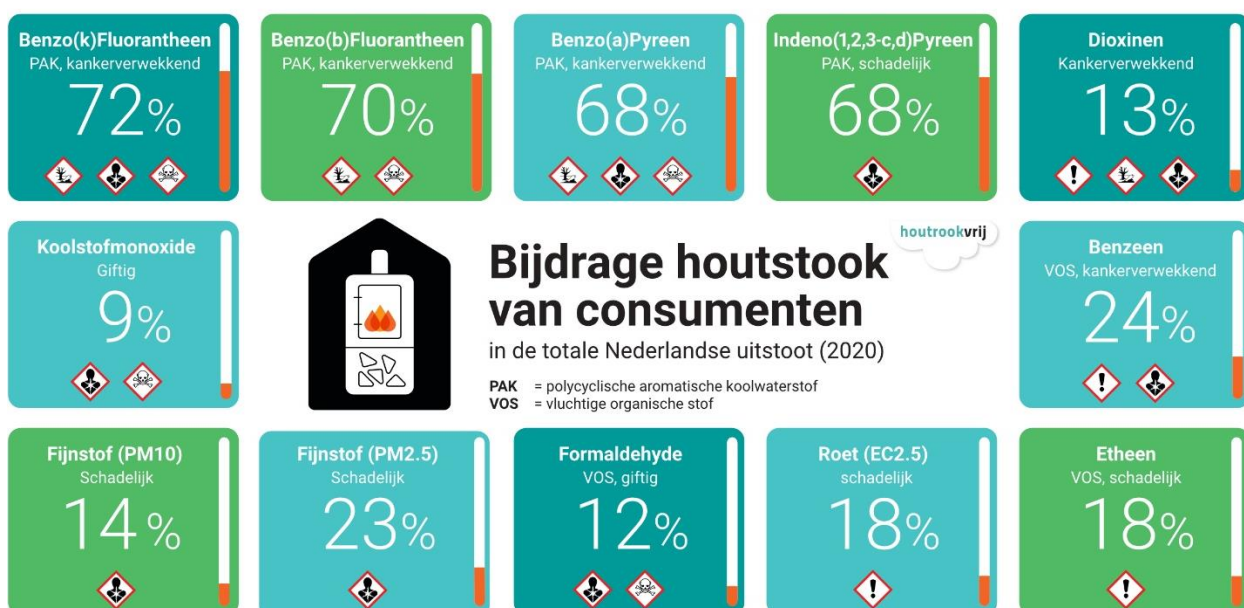
Ander (elektronenmicroscopisch) onderzoek toonde effecten van houtrook op placentacellen: PAK's uit het fijnstof waren zichtbaar bij beschadigde wanden van de cel en celorganellen die eiwitten maken en de energieproductie van de placentacel verzorgen, met als gevolg verminderde zwangerschapshormoon productie, ontstekingsreacties en celdood²⁸.

Een Nederlandse epidemiologische studie naar hart- en vaatziekten toonde aan dat bij langdurende ultrafijnstofbelasting, bij iedere concentratietoename in de omgevingslucht met 10.000 deeltjes/cm³, meer hartfalen (76%), hartinfarcten (34%) en hersenberoerten (18%) plaatsvinden. Er werd geen relatie gevonden met het grovere fijnstof PM10-2,5 of met NO₂. Zij concludeerden dat dit bijdraagt aan het bewijs dat ultrafijnstof een belangrijke rol speelt bij hart- en vaatziekten en dat de concentraties van PM10 en NO₂ geen goede maten zijn voor de effecten van luchtverontreiniging²⁹.

De hoge uitstoot van PAK's en ultrafijnstof door particuliere houtstook is in lijn met de conclusie van het Nature onderzoek naar de schadelijke oxidatieve effecten van de verschillende bronnen van het Europese fijnstof. Hoewel het PM_{2,5} uit bronnen uit de landbouw en de aardkost (zand) het meest dominant aanwezig was, bleken de oxidatieve effecten grotendeels afkomstig te zijn uit het PM_{2,5} uit particuliere houtstook, weliswaar ook van metalen uit de niet-uitlaat emissies uit het verkeer, maar gezien de grotere diameter van die deeltjes (vooral PM_{10-2,5}) kunnen zij minder impact uitoefenen op de lagere luchtwegen. Complexe mengsels van PAK's uit houtrook zouden (deels secundair) potente reactieve zuurstofmoleculen vormen, die verantwoordelijk zijn voor de schadelijke oxidatieve effecten. Beperking van de gezondheidsschade door fijnstof, zo concludeerden zij, is meer gebaat bij het terugdringen van de meest schadelijke bronnen dan door de vermindering van het totale fijnstof³⁰.

Een recente Griekse studie toonde eveneens aan dat houtstook de grootste bron was van de meest carcinogene PAK's in Athene^{31,32}.

Ook volgens de Amerikaanse Environmental Protection Agency blijkt uit studies dat de oxidatieve schade een belangrijke rol speelt bij de gezondheidsschade door fijnstof en dat genetische factoren bepalend lijken voor de aanzienlijke verschillen waarmee mensen reageren op zowel acute als chronische fijnstof blootstelling^{33,34}.



© CC BY-NC-ND 4.0 Dit werk valt onder een Creative Commons Naamvermelding-NietCommercieel-GeenAfsgeleideWerken 4.0 Internationaal-licentie

©2021 houtrookvrij.nl / Graphic: MJVC.info / bron: RIVM Emissieregistratie: 'Vuurhaarden consumenten, sfeerverwarming woning' en 'Vreugdevuren'

Bron: RIVM Emissieregistratie Bijdrage houtstook van consumenten.

Al in 2015 stelde de WHO in haar rapport 'Residential Heating with Wood and Coal' dat in houtstook vooral de PAK's verantwoordelijk zijn voor de oxidatieve schade, de cellulaire toxiciteit, DNA-schade, longschade, secundair (systemische) inflammatie en de afname van het herstel van beschadigde cellen³⁵.

Uit onderzoek van hoogleraar Lars Hein (WUR) bleken de emissiewaarden voor PAK's bij de verschillende onderzoekers niet af te nemen bij de eco- en pelletkachels³⁶. Een Vlaams real life interventieonderzoek naar optimaal stoken liet ook geen afname zien van de PAK's emissies³⁷.

Een overzichtsonderzoek in Science concludeerde dat door de hogere temperaturen in moderne houtkachels het totaal aan PAK's kan afnemen, maar dat dat bij ecokachels gepaard gaat met een toename van de meest toxische en carcinogene, benzo(a)pyreen³⁸.

Normering aangepast

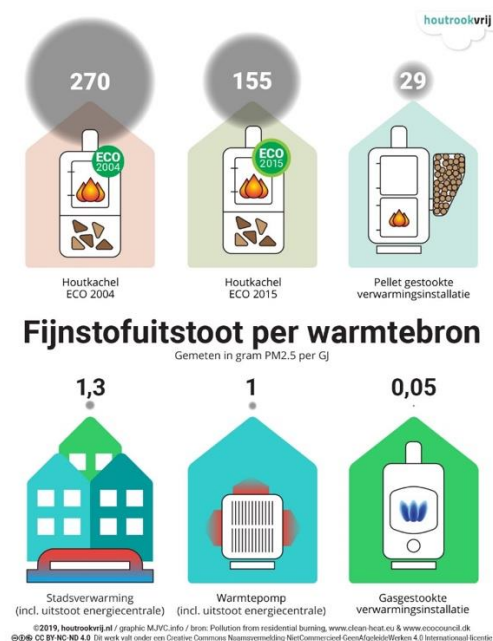
De WHO heeft in haar recente rapport 'WHO Global Air Quality Guidelines' van 2021 de richtlijnen voor luchtvervuiling door PM_{2,5} gehalveerd van 10 tot 5 µg/m³ omdat sterfte en gezondheidseffecten ook bij heel lage waarden bleken op te treden. Het toegenomen risico op overlijden bij langdurige blootstelling bedraagt 8% bij iedere 10 µg /m³ meer aan PM_{2,5}³⁹.

De huidige Europese grenswaarde voor fijnstof bedraagt 25 µg/m³.

Ultrafijnstofconcentraties >10.000 deeltjes/cm³ (gedurende 24 uur) en >20.000 deeltjes/cm³ (gedurende 1 uur) in de omgevingslucht worden door de WHO aangemerkt als hoog en dienen met prioriteit te worden aangepakt⁴⁰. Ook de Gezondheidsraad adviseerde, in haar nieuwe rapport 'Risico's van ultrafijnstof in de buitenlucht', om de uitstoot te verkleinen en de afstand tot de bron te vergroten⁴¹.

Zowel het Planbureau voor de leefomgeving (PBL) als het interdepartementaal Beleidsoverleg (IBO) Luchtkwaliteit concludeerden dat maatregelen tegen particuliere houtstook het meest (kosten)effectief zijn om gezondheidsschade door luchtverontreiniging terug te dringen. Het IBO adviseerde met name het ontraden ervan⁴². Het BPL rekende uit dat uitfasen van alle houtkachels twaalf keer effectiever is, voor de fijnstofblootstelling, dan het uitfasen van dieselbestelauto's en -personenauto's zonder roetfilter⁴³.

Uit onderstaande figuur blijkt dat particuliere houtstook veel vervuilender is en blijft, ook bij het gebruik van eco- en pelletkachels, in vergelijking met andere manieren van verwarmen. Als de uitstoot zou worden weergegeven voor ultrafijnstof zou het beeld voor m.n. deze eco- en pelletkachels nog slechter worden.



Bron: Pollution from residential burning, www.clean-heat.eu & www.ecocouncil.dk

Geurhinder

Geurhinder kan fysieke stressreacties geven met concentratiestoornissen en slaapverstoring tot gevolg en wordt eveneens aangemerkt als een negatief gezondheidseffect⁴⁴.

Om geurhinder tegen te gaan en mogelijke gezondheidsrisico's te beperken voert de overheid een actief beleid om geuren van bedrijfsmatige activiteiten en de intensieve veehouderij binnen de perken te houden met als gevolg dat ernstige geurhinder door bedrijfsmatige activiteiten is afgenomen tot 1% en die van de agrarische sector tot 2,5%.

Dit actieve beleid wordt niet gevoerd voor geurhinder van houtkachels en buitenhoutstook. Het RIVM heeft in 2019 vastgesteld dat ernstige geurhinder door houtkachels en haarden is toegenomen tot 5,4% en die door barbecues en vuurkorven tot 5%⁴⁴. In 2018 heeft het RIVM ernstige geurhinder van open haarden en allesbranders vastgesteld op 3,9% en die van barbecues en vuurkorven op 4,4%⁴⁵. Tevens is 31% (ernstig) bezorgd over de luchtkwaliteit rondom het huis.

De geurhinder van particuliere houtstook is dus de afgelopen tientallen jaren niet aangepakt en de ernstige hinder is de laatste jaren toegenomen en nu veel groter dan de ernstige geurhinder van bedrijven en de agrarische sector.

Samenvatting

Houtstook is de grootste Nederlandse bron van fijnstof (PM_{2,5}) met een bijdrage van 23%. In deze berekening zijn lang niet alle bronnen meegenomen. Uit wetenschappelijk onderzoek is gebleken dat de emissies van houtrook in de praktijk (veel) hoger zijn dan in laboratoriumtesten. Dat betekent dat de feitelijke emissies van houtrook veel hoger zijn dan de getallen waarmee nu wordt gerekend.

De laatste jaren is door wetenschappelijk onderzoek steeds duidelijker geworden dat ultrafijnstof (deeltjes < 0,1 µm) zeer schadelijk is. Ultrafijnstof is een belangrijk onderdeel van de uitstoot van fijnstof door houtstook. En bovendien blijken de eco- en pelletkachels juist veel meer ultrafijnstof (uitgedrukt in aantallen deeltjes) uit te stoten dan de conventionele kachels.

Bovendien neemt de emissie van de Zeer Schadelijke Stoffen zoals PAK's bij eco- en pelletkachels niet af en zijn er aanwijzingen dat deze adsorberen aan de partikeltjes van het ultrafijnstof zodat ze daarmee via de bloedbaan in de rest van het lichaam terecht kunnen komen.

De (ernstige) geurhinder van houtstook is niet aangepakt en de laatste jaren zelfs toegenomen

Deze drie factoren (hogere emissies, uitstoot van meer schadelijke stoffen door eco- en pelletkachels en toenemende (ernstige) geurhinder maken dat de feitelijke schadelijkheid van particuliere houtstook erg wordt onderschat.

Een kleine minderheid (13%) is zo verantwoordelijk voor disproportioneel veel schade aan de volksgezondheid. Stooktips en moderne kachels blijken hiervoor geen oplossing.

Referenties

1. <https://nos.nl/artikel/2368898-houtkachels-blijken-na-opnieuw-rekenen-grootste-bron-van-fijnstofuitstoot.html>
2. <https://www.rivm.nl/nieuws/definitieve-emissiecijfers-over-2019-bekend>
3. <https://research.wur.nl/en/publications/de-keerzijde-van-houtstook-in-open-haarden-en-kachels> Zie figuur 1 en conclusie. Emissiewaarden PM_{2,5} en roet van TNO/RIVM vele malen lager dan gemeten emissies andere wetenschappers.
4. https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2018/11/IEA_Bioenergy_Task32_Test-Methods.pdf Zie Hoofdstuk Summary and Conclusions, blz. 42, punt 3 t/m 7: De emissiewaarden gemeten en opgegeven door de fabrikant en de daaraan verbonden standaarden zijn veel lager dan de werkelijke uitstoot in het lab en real live.
5. https://legacy-assets.eenews.net/open_files/assets/2021/03/15/document_gw_24.pdf Verslagen door de Stichting Houtrookvrij: <https://houtrookvrij.nl/2021/07/04/epa-gecertificeerde-houtkachels->

- [vervuilender-dan-toegestaan/](#) De werkelijke emissies waren gemiddeld ruim een factor 6 hoger dan het keurmerk toestaat. De emissiewaarden van de stook in het eerste uur varieerden bij de geteste houtkachels van een factor 1,3 tot 78,4 hoger dan toegestaan.
6. Tijdschrift Lucht, maart 2021, nr.1: Zorgen nieuwe kachels en “beter stoken” voor minder luchtvervuiling? F. Fierens, J. Vercauteren, D. Roet.
 7. <https://www.addendum.org/feinstaub/heizen-mit-holz-axel-friedrich/> De opgegeven emissiewaarden zijn 3x tot 10x lager dan de werkelijke emissiewaarden bij normaal gebruik.
 8. https://www.cbs.nl/-/media/pdf/2019/41/cbs_2019_rapport_houtverbruik_huishoudens_woon-onderzoek_2018.pdf Zie blz.11 en 12. Het blijkt dat $933/1355 \times 18,1\% = 13\%$ van alle huishoudens een houtkachel of open haard gebruikt. Uit de tabel op blz. 17 blijkt dat de meerderheid 1, 2 of 3 dagen per week stookt.
 9. <https://houtrookvrij.nl/2019/12/14/moderne-pelletkachel-stoot-evenveel-ultrafijnstof-uit-als-houtkachel> Pelletkachel met elektrostatisch filter stoot 600.000 deeltjes/cm³, dus eigenlijk 20% meer dan de houtkachel met 500.000 deeltjes/cm³ ultrafijnstof.
 10. <https://www.ccacoalition.org/en/resources/pollution-residential-burning-danish-experience-international-perspective>. Zie blz. 9. De uitstoot van 650.000 deeltjes ultrafijnstof door een Noorse eco-kachel onder ideale stookcondities.
 11. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032119300012> Zie introduction, background, conclusions: over de grotere uitstoot van ultrafijnstof door moderne kachels. Vanwege de betaalmuur ook als **bijlage** ‘Nanoparticle emissions from residential wood combustion 2019’.
 12. <https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/rapporten/2020/04/30/nationale-analyse-waterkwaliteit/nationale-analyse-waterkwaliteit.pdf> Zie Hoofdstuk PAKs, blz. 138. Particuliere houtstook grootste bijdrage PAKs in atmosfeer.
 13. <https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/zeer-zorgwekkende/zzs-beleid/>
 14. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228> Zie blz. 75 en 74 (laatte alinea).
 15. <https://www.eea.europa.eu/themes/air/health-impacts-of-air-pollution> PM_{2,5} verantwoordelijk voor 84% van alle jaarlijkse vroegtijdige sterfgevallen t.g.v. luchtverontreiniging in Europa, namelijk 307.000; NO₂ 40.400 en O₃ 16.800 doden.
 16. <https://www.gezondheidsraad.nl/documenten/adviezen/2018/01/23/gezondheidswinst-door-schonere-lucht> Zie Kernadvies op blz. 17: In Nederland gaat het om 12.000 vroegtijdige sterfgevallen door luchtvervuiling per jaar.
 17. <https://research.wur.nl/en/publications/de-keerzijde-van-houtstook-in-open-haarden-en-kachels> Zie Conclusie, blz. 45: Houtstook veroorzaakt in Nederland jaarlijks 700 - 2700 vroegtijdige sterfgevallen.
 18. <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2021/09/15/advies-gezondheidsraad-over-ultrafijn-stof> Zie ‘Risico’s ultrafijnstof in de buitenlucht’, Kernadvies, blz. 11: Ultrafijnstof PM_{0,1} dringt tot in de bloedbaan door.
 19. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6904854/> Overzichtsstudie in Chest concludeert dat PM_{2,5} ieder orgaan in het lichaam aantasten kan. Becommentarieerd door de WHO in The Guardian:
 20. <https://www.theguardian.com/environment/ng-interactive/2019/may/17/air-pollution-may-be-damaging-every-organ-and-cell-in-the-body-finds-global-review>
 21. <https://www.theguardian.com/society/2019/aug/20/growing-up-in-air-polluted-areas-linked-to-mental-health-issues>
 22. <https://projects.iq.harvard.edu/covid-pm> Sterftetoename Covid-19 van 11% bij iedere toename van 1 µg/m³ PM_{2,5}.
 23. <https://www.volksgezondheidenzorg.info/onderwerp/fysieke-omgeving/cijfers-context/luchtverontreiniging#node-gezondheidseffecten-van-fijn-stof> Van alle te klein geboren kinderen wordt 37% gerelateerd aan fijnstof PM_{2,5}, zie onderaan in de tabel.
 24. <https://www.ncj.nl/richtlijnen/alle-richtlijnen/richtlijn/?richtlijn=15&rlpag=862> Zie tabel 3 en (Basiskennis) Mentale ontwikkeling. Te klein of te vroeg geboren kinderen hebben vaker leerproblemen, vaker speciaal onderwijs nodig, vaker een lager IQ, vaker taalproblemen, vaker problemen met doelgericht uitvoeren van taken (planning, werkgeheugen, aandacht, verwerkingssnelheid, flexibiliteit) die leiden tot beperkingen in het algemeen functioneren en een minder goede prikkelverwerking. Zoals voorkomen bij kinderen bij ADHD en autisme.

25. <https://www.volksgezondheidenzorg.info/onderwerp/adhd/cijfers-context/oorzaken-en-gevolgen-0#node-risicofactoren-adhd> Te klein/vroeg geboren kinderen hebben meer kans op ADHD.
26. [https://www.biologicalpsychiatryjournal.com/article/S0006-3223\(18\)30064-7/fulltext](https://www.biologicalpsychiatryjournal.com/article/S0006-3223(18)30064-7/fulltext) Zie Resultaten en Conclusie. Ook bij niet te vroeg of te klein geboren kinderen is er een relatie gevonden tussen fijnstofbelasting tijdens de zwangerschap en een kleinere hersenschors en minder goede impulscontrole.
27. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4456286/> Zie abstract: (prenatale) blootstelling aan PAKs draagt bij aan een tragere informatieverwerking, ADHD-symptomen, and gedragsproblemen door de ontwikkeling van de witte stof in delen van de hersenen te verstoren.
28. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749120316055> Zie abstract. Met een elektronenmicroscop werden PAKs in aan houtrook blootgestelde placentacellen aangetroffen: aan beschadigde wanden van cellen en celorganellen die eiwitten maken (Endoplasmatische Reticulum, RE) en de energieproductie van de cel verzorgen (mitochondria) met als gevolg verminderde zwangerschapshormoonproductie, ontstekingsstoffen (zoals IL6) en celdood. Overigens zijn de verschillende hoeveelheden PAKs (zoals benzo(a)pyreen) in de high en nominal burn rate net zo goed verklaarbaar door de verschillen in de gebruikte hoeveelheden loof en naaldhout (met hars): hars kan 1000 x meer PAKs geven. Zie referentie nr. 38 op blz. 168.
29. <https://doi.org/10.1289/EHP3047> Zie Resultaten en Conclusie. Ultrafijnstof veroorzaakt veel hart en vaatziekten, PM10 en NO₂ onderschatten de gezondheidseffecten van luchtverontreiniging.
30. <https://www.nature.com/articles/s41586-020-2902-8> Zie samenvatting en midden blz. 418. Oxidatieve schade vooral door particuliere houtstook (PM<2,5) en metalen in niet-uitlaat emissies (PM10-2,5). Vanwege de betaalmuur ook als **bijlage** 'Sources of particulate-matter air pollution and its oxidative potential in Europe'.
31. <https://acp.copernicus.org/articles/21/17865/2021/> Zie Abstract en Conclusions. Jaarlijkse bijdrage (43%) en bijdrage in de winterperiode (76%) van houtstook aan carcinogene PAKs in Athene. Ook becommentarieerd in The Guardian:
32. <https://www.theguardian.com/environment/2021/dec/17/wood-burners-urban-air-pollution-cancer-risk-study>
33. <https://www.epa.gov/pmcourse/particle-pollution-exposure> Zie 4^e Hst. De studies impliceren dat oxidatieve stress een belangrijke rol speelt bij de gezondheidsschade en dat genetische factoren bepalend lijken voor de aanzienlijke verschillen waarmee mensen reageren op zowel acute als chronische fijnstof blootstelling.
34. <https://www.epa.gov/pmcourse/particle-pollution-and-cardiovascular-effects> Zie Hst. 2 en fig. 6. Oxidatieve stress lijkt een belangrijke rol te spelen bij drie mechanismen waarmee (ultra)fijnstof gezondheidseffecten heeft op het hart en vaten: 1. via ontstekingsstoffen uit de long, 2. rechtstreekse inwerking op hart en vaten en 3. beïnvloeding van het autonome zenuwstelsel in longen en hart (ritme en contractie).
35. https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0009/271836/ResidentialHeatingWoodCoalHealthImpacts.pdf Zie op blz. 16. "Toxicological and clinical exposure studies".
36. <https://research.wur.nl/en/publications/de-keerzijde-van-houtstook-in-open-haarden-en-kachels> Zie figuur 1: de gemeten PAKs waarden nemen niet af bij modernere houtkachels.
37. <https://www.zorg-en-gezondheid.be/interventiestudie-van-een-traditioneel-naar-een-bewust-beter-gebruik-van-houtkachels-impact-op> Zie Publiekssamenvatting, blz. 9, tabel 1: Vergelijking luchtkwaliteit bij Bewust Beter Stoken t.o.v. Traditioneel Stoken.
38. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809517303563> Zie hoofdstuk 3.2.3. PAHs blz. 168-169: over de grotere uitstoot van benzo(a)pyreen door ecohachels. Vanwege de betaalmuur ook in de **bijlage** als 'An overview of particulate emissions from residential combustion 2018'
39. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228> Zie Executive Summary, blz. Xvii.
40. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228> Zie Step 1, blz. 75.
41. <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2021/09/15/advies-gezondheidsraad-over-ultrafijn-stof> Zie 'Risico's ultrafijnstof in de buitenlucht', Samenvatting, blz. 3 en 4: De Gezondheidsraad adviseert de uitstoot te beperken en de afstand tot de bron te vergroten.
42. <https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/rapporten/2019/07/02/eindrapport-ibo-luchtkwaliteit-21-mei-2019/eindrapport-ibo-luchtkwaliteit-21-mei-2019.pdf> Zie de samenvatting op

blz. 11 (4e alinea). Aanbeveling van het IBO Luchtverontreiniging. Maatregelen tegen particuliere houtstook als meest effectief tegen de door luchtverontreiniging veroorzaakte ziektelast, specifiek het ontraden ervan.

43. <https://www.pbl.nl/publicaties/kosten-en-effecten-van-opties-voor-nationaal-luchtbeleid> Zie de samenvatting op blz.11 (3^e alinea). Volledige uitfasering van houtkachels heeft een twaalf maal groter effect op de fijnstofblootstelling dan de volledige uitfasering van dieselauto's zonder roetfilters.
44. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2020-0116.pdf> Ernstige Hinder en Slaapverstoring. Monitoringsgegevens Onderzoek Beleving Woonomgeving (2020). Zie bladzij 30 en 31.
45. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2018-0084.pdf> Beleving Woonomgeving in Nederland (2018), zie blz. 30 en 31. (Ernstige) bezorgheid om de luchtkwaliteit: 31% (buiten) en 24% (binnen).