

TNO VERTROUWELIJK

Leeghwaterstraat 44
2628 CA Delft
Postbus 6012
2600 JA Delftwww.tno.nl

T +31 88 866 22 00

TNO-rapport**TNO 2021 R11608****Luchtkwaliteit hypotheek Nationale
Nederlanden**

Datum	16 september 2021
Auteur(s)	ir. P. Jacobs
Aantal pagina's	24
Aantal bijlagen	--
Opdrachtgever	Nationale Nederlanden Mw. M. Schuhmacher
Projectnaam	Luchtkwaliteit hypotheek Nationale-Nederlanden
Projectnummer	060.49379

Alle rechten voorbehouden.

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

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

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

© 2021 TNO

TNO VERTROUWELIJK

Samenvatting

De luchtkwaliteit binnenshuis is van invloed op onze gezondheid. Zeker nu we meer thuiswerken, is het nog belangrijker geworden dat de lucht die je binnen inademt gezond is. Nationale-Nederlanden wil daarom het bewustzijn over gezond wonen vergroten en klanten hiermee helpen. TNO heeft, op verzoek van Nationale-Nederlanden, een checklist opgesteld waarmee consumenten op basis van eenvoudig vast te stellen woning- en installatiekenmerken een eerste indicatie kunnen krijgen hoe het met de luchtkwaliteit in hun woning gesteld is.

De vragen van de checklist zijn gerangschikt op basis van een prioritering van binnenluchtverontreinigingen wat betreft ziektelast. Hieruit volgt dat 2/3 van de ziektelast gerelateerd aan agentia in het binnenmilieu wordt veroorzaakt door fijnstof, wat het best wordt gerepresenteerd door de PM_{2.5} fractie, het gewicht van deeltjes kleiner dan 2,5 µm. Vocht en schimmel veroorzaakt naar schatting 11% van de ziektelast.

TNO heeft informatie aangeleverd voor een infographic voor consumenten met de belangrijkste binnenluchtrisico's:

1. Fijnstof door kookdampen en verontreiniging van buiten;
2. Onvoldoende ventilatie slaapkamers;
3. Vocht en schimmel.

TNO heeft factsheets opgesteld om consumenten handelingsperspectief te geven voor de belangrijkste binnenluchtrisico's. Hierbij is gekozen voor een aanpak zoals ook gebruikelijk is voor het verminderen van risico's op de werkplek, waar de eerste stappen zijn:

1. Wegnemen van de bron van de verontreiniging;
2. Als dat niet lukt, afschermen en lokaal afvoeren en reduceren van de bron;
3. Ventilatie, met name geschikt voor verdunning van bio-effluenten ten gevolge van menselijke aanwezigheid.

De door TNO voorstelde bronaanpak gaat uit van het stoppen met open verbrandingsprocessen: niet roken binnenshuis, koken op aardgas en stoken. Als tweede stap kan compartimentering in combinatie met lokale afzuiging worden toegepast: kookafzuiging met afvoer naar buiten, plaatsing van een HEPA filter in stofzuigers en gebruik van de badkamer voor sprayen van deo. Als derde stap komt dan ventilatie, die vooral geschikt is voor het verdunnen van bio-effluenten ten gevolge van menselijke aanwezigheid. Een aandachtspunt is hierbij slaapkamers omdat deze vaak niet voldoende worden geventileerd, wat mogelijk tot slaapverstoring en productiviteitsverlies op de volgende dag kan leiden.

Wat betreft vocht en schimmel is het voor de gezondheid met name van belang om schimmel in de slaapkamer en woonkamer te voorkomen. De aanpak bestaat hier uit als eerste stap het wegnemen van de bron:

1. Het wegnemen van waterlekkages en optrekkend vocht vanuit fundering of kruipruimte;
2. Voorkomen van koudebruggen door betere thermische isolatie.

En in tweede instantie het aanleggen van een mechanisch ventilatiesysteem en het goed ventileren van de woning.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Inleiding	4
1.1	Aanleiding	4
1.2	Doelstelling	4
1.3	Werkwijze	4
2	Beslisboom	6
3	Infographic	8
3.1	Prioritering gezondheidsrisico's aan de hand van contaminanten	8
3.2	Fijnstof door kookdampen en verontreiniging van buiten.....	9
3.3	Onvoldoende luchtkwaliteit in slaapkamers door loef- lijzijde probleem	10
3.4	Vocht en schimmel in de woonkamer en slaapkamer	11
4	Factsheets	12
4.1	Handelingsperspectief voor consumenten	12
4.2	Stap 1 bron aanpak open verbranding en koken op gas	13
4.3	Stap 2 Vermijden van kookdampen door compartimentering in combinatie met afzuiging - Kookafzuiging	14
4.4	Stap 3 ventilatie - Ventilatie van de slaapkamer	18
4.5	Voorkomen van vocht en schimmel.....	20
4.6	Overzicht van maatregelen en globale kostenschattingen.....	21
5	Literatuur	22
6	Ondertekening	24

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Nationale Nederlanden (NN) wil op een onderscheidende manier invulling geven aan het thema duurzaamheid in en om het huis. Gezond binnenklimaat is daar een belangrijk en relevant thema voor. Hierbij worden door NN twee doelgroepen onderscheiden:

1. Consumenten, klanten die een NN Hypotheek hebben of afsluiten voor nieuwbouw of verbouwing.
2. (Hypotheek)adviseurs.

Een eerste stap hierbij is het verhogen van bewustzijn van consumenten en adviseurs van het belang van een gezond binnenmilieu in huis voor je gezondheid. Vervolgens wil NN consumenten helpen met informatie en oplossingen waarmee ze de luchtkwaliteit in huis kunnen verbeteren. NN heeft TNO gevraagd om wetenschappelijk onderbouwde kennis ten aanzien van luchtkwaliteit in woningen voor deze doeleinden toegankelijk te maken.

1.2 Doelstelling

De doelstelling betreft het toegankelijk maken van wetenschappelijk onderbouwde kennis ten aanzien van de luchtkwaliteit in woningen voor consumenten die een NN Hypotheek hebben of afsluiten voor nieuwbouw of verbouwing, aan de hand van 3 activiteiten:

1. Het opstellen van een checklist zodat consumenten kunnen kijken hoe het met hun binnenmilieu is.
2. Input voor het maken van een infographic voor consumenten waarmee de voor de gezondheid belangrijkste binnenmilieu risico's in een oogopslag worden gegeven.
3. Het opstellen van factsheets over keuken, slaapkamer en badkamer voor handelingsperspectief voor consumenten met de volgende aspecten:
 - Welke technische maatregelen zijn mogelijk, met een globale kostenschattting.
 - Complexiteit, kan de bewoner dit zelf of moet hij/zij hiervoor een professional inschakelen?
 - Welke kwaliteitseisen kan de bewoner stellen aan de projectontwikkelaar/aannemer? Denk aan geluid, ventilatiecapaciteit, etc.
 - Juridische info over geveldoorvoeren ten behoeve van luchtafvoer afzuigkap, wettelijk toegestaan geluidsniveau ventilatiesysteem.

1.3 Werkwijze

Bij TNO aanwezige literatuur over luchtkwaliteit in woningen en het effect op gezondheid wordt toegankelijk gemaakt. In hoofdstuk 2 wordt deze informatie verwerkt tot een aantal vragen waarmee consumenten een indicatie kunnen krijgen hoe het met de luchtkwaliteit in hun woning gesteld is.

In Hoofdstuk 3 worden de belangrijkste binnenluchtrisico's kort en bondig aangeleverd, met de bijbehorende binnenluchtverontreinigingen, zodat Nationale Nederlanden deze kan verwerken tot een infographic.

In hoofdstuk 4 zijn factsheets opgesteld met bij TNO aanwezige wetenschappelijke kennis over de binnenluchtkwaliteit in keuken, slaapkamer en badkamer, mogelijke gezondheidseffecten en handelingsperspectief. Om het handelingsperspectief zo efficiënt mogelijk te laten zijn wordt bij de volgorde van mogelijke maatregelen de arbeidshygiënische prioritering toegepast. Deze aanpak is ook gebruikelijk voor het verminderen van risico's op de werkplek. Als laatste wordt een indicatieve kostenschattning gegeven.

2 Beslisboom

In dit hoofdstuk is een beslisboom opgesteld, waarmee consumenten kunnen kijken hoe het met hun binnenmilieu is gesteld. Dit is gedaan aan de hand van de hieronder gestelde cursieve vragen:

Vraag 1:

Woont u dichtbij een drukke weg?

Op korte afstand van een drukke weg wonen heeft een negatief effect op de gezondheid en vergroot het risico op vroegtijdig overlijden¹. Verhoogde concentraties van onder andere gasvormige verontreinigingen zoals NO₂ en fijnstof zoals roet en ultrafijnstof zijn hiervoor waarschijnlijk verantwoordelijk. Het is moeilijk om een precieze afstand te geven waarop geen verhoogde concentraties meer optreden. Dit hangt ook af van de drukte op de weg en de ligging van de woning ten opzichte van de weg. In Nederland wordt in het besluit Gevoelige bestemmingen een afstand van minimaal 300 m van een snelweg aangehouden en minimaal 50 m afstand van een provinciale weg.

Is uw woning voorzien van een balansventilatiesysteem?

Door de kwaliteit van het luchtaanzuigfilter te verhogen naar F7 kan tot 75% van het PM_{2.5} fijnstof en daarmee ook een groot deel van het roet uit de ventilatielucht worden gefilterd. Dit biedt overigens geen oplossing voor gasvormige componenten.

Vraag 2:

Kookt u op gas zonder goede kookafzuiging?

Dit is het geval bij:

- *Geen kookafzuiging.*
- *Een recirculatieafzuigkap of een down-draft op basis van recirculatie.*
- *Een afzuigkap met afvoer naar buiten op een te lage stand, bijvoorbeeld doordat deze teveel geluid maakt. Hierdoor levert deze veel minder dan 300 m³/uur afvoer.*
- *Een motorloze afzuigkap aangesloten op het ventilatiesysteem (vaak slechts 75 – 125 m³/uur afzuigcapaciteit).*

Het effect van koken op gas zonder goede kookafzuiging is dat de verbrandingsgassen zich in de keuken ophopen, waardoor volgens onderzoek van de WHO² kinderen een 20% hoger risico lopen op longklachten dan in woningen waar elektrisch wordt gekookt.

Kookt u op gas en gebruikt u een recirculatieafzuigkap met een plasmafilter?

Hierdoor bestaat een kans dat het relatief onschuldige stikstofoxide wordt omgezet naar het veel schadelijkere stikstofdioxide. In indicatieve laboratoriumexperimenten³ met één type plasmafilter werden hierdoor stikstofdioxideconcentraties vastgesteld nabij de wettelijke grenswaarde voor deze stof voor kortdurende blootstelling.

Vraag 3:

Bakt en braadt u (al dan niet elektrisch) zonder goede kookafzuiging?

Hierdoor kan de PM_{2.5} fijnstofconcentratie in de binnenlucht veel hoger worden dan in de buitenlucht en bij de veelal geringe woningventilatie kan deze situatie urenlang voortduren. In een monitoringstudie⁴ in 100 woningen bleek dat met name door bakken en braden in 15% van de woningen de door de WHO aanbevolen jaargemiddelde PM_{2.5} fijnstofadvieswaarde² van 10 µg/m³ werd overschreden. Ook het branden van kaarsen leverde in deze studie een significante bijdrage aan hoge concentraties fijnstof.

Vraag 4:

Heeft u onvoldoende ventilatie in uw slaapkamer?

U heeft wel voldoende ventilatie als:

- *Uw woning heeft een balansventilatiesysteem met mechanische toevoer in de slaapkamer en het ventilatiesysteem staat tijdens het slapen in de hoogste stand.*
- *U slaapt met open ramen.*
- *U heeft de ventilatieroosters in de slaapkamer open en in de slaapkamer zit een mechanische afvoer en het ventilatiesysteem staat tijdens het slapen op de hoogste stand.*
- *U heeft tijdens het slapen de ventilatieroosters en de binnendeur open.*

Uit exploratief onderzoek blijkt dat onvoldoende ventilatie tot slaapverstoring kan leiden⁵ en tot circa 3% productiviteitsverlies op de volgende dag⁶.

Vraag 5:

Heeft u schimmel in slaapkamer of de woonkamer?

Europees onderzoek⁷ schat dat vocht en schimmel circa 11% van de binnenmilieu gerelateerde ziektelast veroorzaakt. Uit enquêtes volgt dat in ongeveer één vijfde van alle woningen in Nederland de bewoners last hebben van vocht en schimmel. Uit nadere inspectie⁸ blijkt dat in bijna 6% van de Nederlandse woningen schimmel in de badkamer voorkomt en in ruim 4% in de woon- of slaapkamer. Schimmel in de woonkamer en slaapkamer geven vanwege de langere verblijftijd in deze vertrekken het meeste kans op gezondheidsrisico, zoals de ontwikkeling van astma bij kinderen. Schimmel in de badkamer geeft minder kans op gezondheidsrisico omdat daar de verblijftijd veel korter is en omdat de badkamer vaak op onderdruk staat, waardoor er geen verspreiding plaatsvindt⁹.

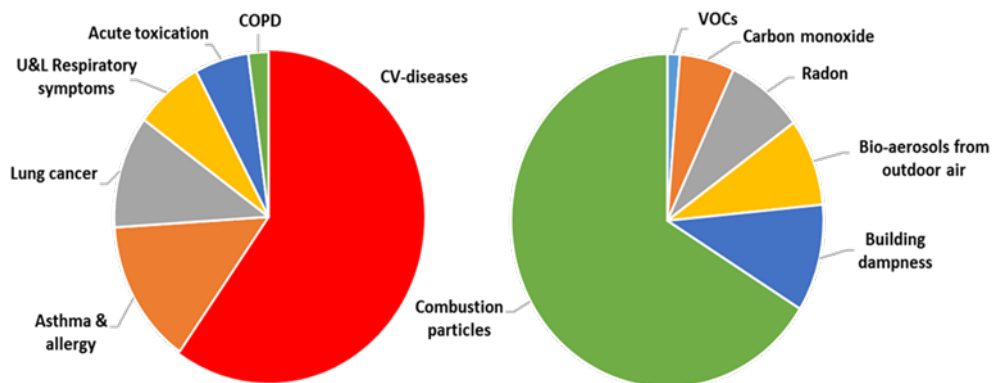
3 Infographic

In dit hoofdstuk is input opgesteld voor het maken van een infographic voor consumenten waarmee de voor de gezondheid belangrijkste binnenmilieurisico's in een oogopslag worden weergegeven.

De bij TNO aanwezige informatie uit de literatuur over de voor de gezondheid belangrijkste binnenmilieurisico's wat betreft luchtkwaliteit in woningen wordt, mede aan de hand van figuren, kort en bondig beschreven. Hierbij worden ook typische concentratieniveaus onder verschillende omstandigheden getoond.

3.1 Prioritering gezondheidsrisico's aan de hand van contaminanten

Om de belangrijkste gezondheidsrisico's voor binnenlucht in kaart te brengen is gekeken naar de impact van binnenluchtverontreinigingen op de gezondheid. In het Europese project IAIAQ⁷ zijn schattingen gemaakt van de ziektelast veroorzaakt door verschillende verontreinigingen in het binnenmilieu, zie Figuur 1. De belangrijkste ziekten zijn hart- en vaatziekten (Cardio Vasculair CV) die worden veroorzaakt door fijnstof wat ontstaat bij verbranding in de binnen- en buitenlucht. Deze verbrandingsdeeltjes veroorzaken ook COPD en longkanker. IAIAQ concludeert dat 2/3 van de ziektelast gerelateerd met agentia in het binnenmilieu wordt veroorzaakt door fijnstof, wat het best wordt gerepresenteerd door PM_{2,5}. Vocht en schimmel (Building dampness) veroorzaakt 11% van de ziektelast.



Figuur 1 Links: binnenmilieu gerelateerde ziekten (CV = Cardio Vasculair) en rechts: belangrijkste contaminanten in 26 Europese Unie landen⁷.

RIVM¹⁰ heeft ook een schatting gemaakt van de ziektelast in Nederland ten gevolge van binnenlucht. Zij identificeerden meeroken van tabaksrook als belangrijkste oorzaak voor de ziektelast.

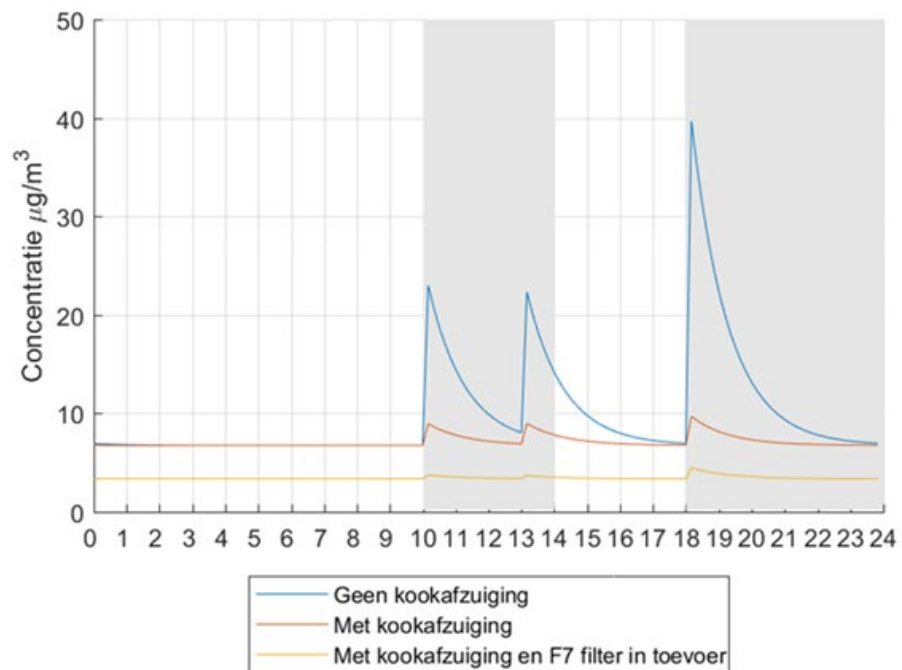
Een soortgelijke analyse voor de situatie in de VS¹¹ gaf aan dat PM_{2,5} de grootste impact heeft op de gezondheid gevolgd door acroleïne en formaldehyde. Acroleïne is een verbrandingsproduct wat bij gasverbranding vrijkomt, onder andere bij koken op gas. Formaldehyde kan onder andere vrijkomen uit constructie- en inrichtingsmaterialen. In deze analyse was gezondheidsschade van schimmel niet meegenomen omdat dit een indirect effect is van vocht.

Uit exploratief onderzoek blijkt dat onvoldoende ventilatie tot slaapverstoring kan leiden⁵ en tot circa 3% productiviteitsverlies op de volgende dag⁶.

Gezien het effect op ziektelast en welbevinden wordt in navolgende paragrafen verder ingegaan op PM_{2.5}, vocht- en schimmel en de luchtkwaliteit in de slaapkamers en wat het effect is van installatietechnische- en of bouwkundige maatregelen.

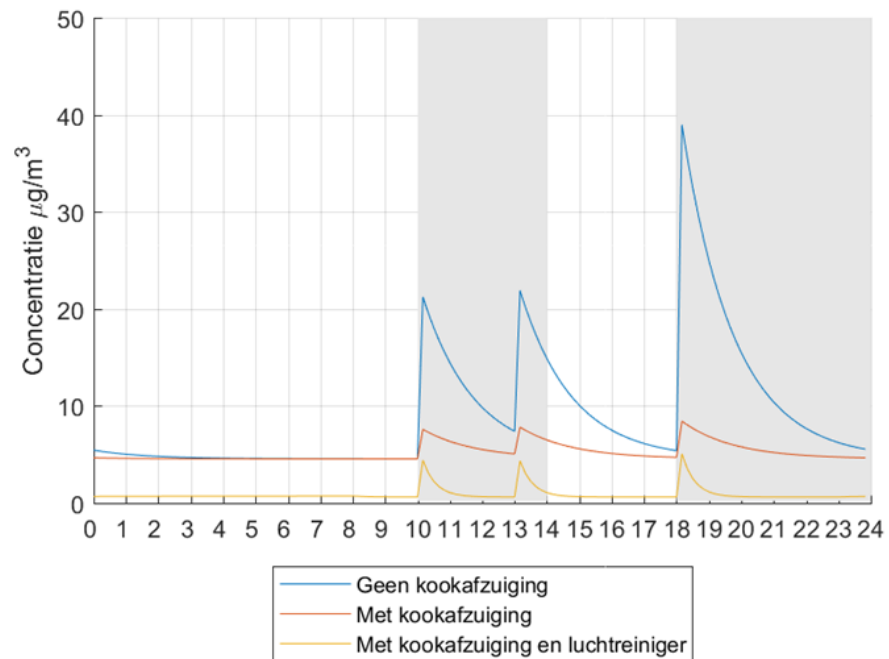
3.2 Fijnstof door kookdampen en verontreiniging van buiten

Uit de voorgaande paragraaf blijkt dat fijnstof een belangrijk risico is. De bronnen van fijnstof zijn binnen afkomstig door activiteiten als koken en kaarsen branden en daarnaast door ventilatie waardoor fijnstof uit de buitenlucht naar binnen komt. Figuur 2 toont op basis van simulatie met een ventilatiemodel de effecten van kookafzuiging en buitenluchtfiltering op het PM_{2.5} concentratieverloop in de woonkamer/keuken uitgaande van het 50^e percentiel emissiepatroon wat in TKI Be Aware⁴ is vastgesteld. Voor de buitenluchtconcentratie is uitgegaan van 11,5 µg/m³. Duidelijk zichtbaar is dat zonder maatregelen de verontreinigingen ten gevolge van koken veel hoger zijn dan de buitenconcentratie en ook enkele uren kunnen blijven hangen. Voor de kookafzuiging is in de simulatie een vangstefficiëntie van 95% van de kookdampen aangenomen. Voor de filtering is aangenomen dat de woning met een balansventilatiesysteem is uitgerust, waarin een filter met F7 kwaliteit is geplaatst. Voordeel hiervan is dat zowel in de woonkamer/keuken als in de slaapkamer gefilterde lucht wordt ingeblazen, waardoor de fijnstof blootstelling in de woning fors wordt gereduceerd.



Figuur 2 Effect van effectieve kookafzuiging en buitenluchtfiltering op het dagelijkse concentratieverloop in de woonkamer/keuken bij aanname van een 50 percentiel emissiepatroon⁴. De grijze blokken geven de periode aan dat is aangenomen dat mensen in de woonkamer/keuken aanwezig zijn.

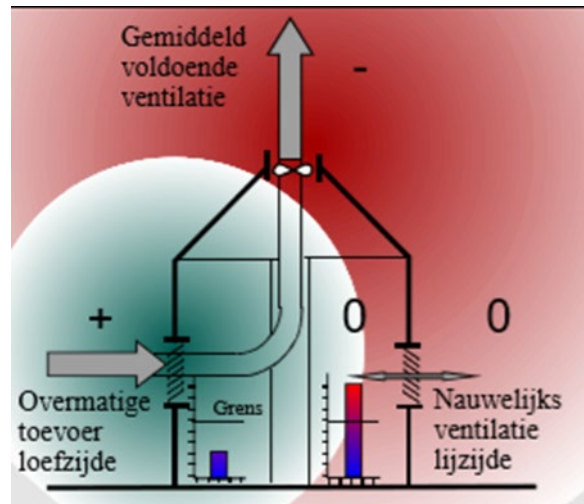
Het merendeel van de woningen in Nederland is niet uitgerust met balansventilatie. In deze woningen zouden naast kookafzuiging ook luchtreinigers kunnen worden toegepast om fijnstof te verwijderen, het effect hiervan wordt getoond in Figuur 3. De gesimuleerde luchtreiniger heeft een Clean Air Delivery Rate (CADR) van 200 m³/uur. Daarnaast is uitgegaan van volledige menging van de ruimte. Om dit te bereiken dient de luchtreiniger de ruimte goed te doorspoelen. Van belang bij deze oplossing is dat deze niet alleen in de woonkamer/keuken, maar ook in de slaapkamer(s) zou moeten worden geplaatst en dat er dus meerdere units noodzakelijk zijn om de blootstelling in de gehele woning te reduceren.



Figuur 3 Effect van effectieve kookafzuiging en een luchtreiniger met een CADR van 200 m³/uur op het dagelijkse concentratieverloop in de woonkamer/keuken bij aanname van een 50 percentiel emissiepatroon⁴. De grijze blokken geven de periode aan dat is aangenomen dat mensen in de woonkamer/keuken aanwezig zijn.

3.3 Onvoldoende luchtkwaliteit in slaapkamers door loef- lizijde probleem

Uit diverse onderzoeken^{14,15} blijkt dat de luchtkwaliteit in veel Nederlandse slaapkamers onvoldoende is. Hierbij wordt als maatstaf gehanteerd dat indien de CO₂ concentratie boven 1200 ppm komt, dat dan de ventilatie onvoldoende is ten opzichte van het aantal aanwezige personen. In geval van luchttoevoer via ventilatieroosters kan onvoldoende ventilatie van slaapkamers optreden omdat de ventilatie tot stand komt ten gevolge van de onder-, of overdruk ten opzichte van buiten en andere ruimtes in de woning. Veel woningen zijn uitgerust met een mechanisch afvoersysteem, waardoor de woning op een lichte onderdruk staat. In de slaapkamer aan de loefzijde zal hierdoor voldoende of zelfs overmatige ventilatie plaatsvinden, zie Figuur 4. De slaapkamer aan de lizijde zal door het ontbreken van een drukverschil met buiten, niet of nauwelijks worden geventileerd.



Figuur 4 Ongelijkmatige luchtverdeling door leef- lijzijde probleem.

3.4 Vocht en schimmel in de woonkamer en slaapkamer

De regelgeving met betrekking tot isolatie van en het voorkomen van koudebruggen die vanaf 1990 van kracht is, is een belangrijke factor geweest in het terugdringen van de vocht- en schimmelproblematiek. In woningen na 1990 komt de problematiek al minder voor en in woningen die na 2000 zijn gebouwd is er zelfs helemaal geen sprake van problematiek in woon- en slaapkamers.

Dit zijn belangrijke bouwkundige oorzaken van vocht en schimmel:

1. Lekkende daken of muren;
2. Koudebruggen door bijvoorbeeld overgangen tussen gevel en vloeren;
3. Lekkage van leidingen;
4. Optrekkend vocht uit de kelder of de kruipruimte;
5. Optrekkend vocht via de fundering.

Woningen met een mechanisch ventilatiesysteem hebben een lagere kans op vocht en schimmel in de woon- en slaapkamer dan woningen met een natuurlijk ventilatiesysteem.

Zowel bij mechanische ventilatie als bij natuurlijke ventilatie hebben huishoudens die goed ventileren in hun woon- en slaapkamer een lagere kans op vocht en schimmel⁸.

Al bij vrij gematigd douchegebruik, meer dan 90 minuten per huishouden per week, is er sprake van een verhoogde vocht- en schimmelproblematiek in badkamers. In vorig hoofdstuk is reeds gemeld dat schimmel in de badkamer waarschijnlijk minder kans op gezondheidsrisico's geeft omdat daar de verblijftijd veel korter is en omdat de badkamer vaak op onderdruk staat, waardoor er geen verspreiding plaatsvindt⁹. Gedragsmaatregelen om schimmelvorming te beperken zijn korter douchen, drogen van wanden en vloer met een wisser en het onderhouden van verhoogde ventilatie gedurende meerdere uren na het douchen⁸.

4 Factsheets

4.1 Handelingsperspectief voor consumenten

In dit hoofdstuk zijn factsheets over keuken, slaapkamer en badkamer voor handelingsperspectief voor consumenten opgesteld, met de volgende aspecten:

- Welke technische maatregelen zijn mogelijk, met een globale kostenschatting.
- Complexiteit, kan de bewoner dit zelf of moet hij/zij hiervoor een professional inschakelen?
- Welke kwaliteitseisen kan de bewoner stellen aan de projectontwikkelaar/aannemer? Denk aan geluid, ventilatiecapaciteit, etc.
- Juridische info over geveldoorvoeren ten behoeve van luchtafvoer afzuigkap, wettelijk toegestaan geluidsniveau ventilatiesysteem.

Bij het handelingsperspectief wordt de arbeidshygiënische prioritering, een aanpak zoals gebruikelijk voor werkplekken, toegepast¹⁶:

1. Als eerste stap worden verontreinigingsbronnen weggenomen;
2. Als dat niet lukt dan wordt in stap 2 compartimentering in combinatie met afzuiging toegepast;
3. In de derde stap wordt de verontreiniging met ventilatie verdund;
4. Pas in de vierde stap zouden eventueel luchtreinigers kunnen worden toegepast.

Stap 1

De bronaanpak houdt kort gezegd in dat je binnen moet stoppen met open verbrandingsprocessen, en binnen niet moet roken, koken en stoken. Bij koken wordt hierbij met name gedacht aan overstappen van op gas naar elektrisch koken en goede kookafzuiging. Bij stoken: geen open geisers, kaarsen en open haarden. Bij kaarsen kan worden gedacht om deze te vervangen door elektrische LED kaarsen.

Stap 2

Bij compartimentering in combinatie met afzuiging kan worden gedacht aan kookafzuiging, filtering van de ventilatie buitenlucht, plaatsing van een HEPA filter in stofzuigers en ook aan optimaal gebruik van de badkamer. Gebruik bijvoorbeeld deo sprays, haarlak en andere cosmetica in een afgesloten badkamer met de afzuiging aan. Afzuiging direct bij de bron is veel efficiënter dan mengventilatie (stap 3). Om met mengventilatie wat betreft blootstelling aan fijnstof dezelfde prestatie te verkrijgen als een afzuigkap die met 300 m³/uur afzuiging 95% van de verontreinigingen direct afvoert, moet je tijdens en ook nog enkele minuten na het koken 3600 m³/uur afvoeren. Op jaarbasis neemt het ventilatie-energieverlies ten gevolge van koken hierdoor met ruim een factor 18 toe ten opzichte van bronafzuiging met een afzuigkap¹⁷.

Stap 3

Ventilatie is met name geschikt voor verdunning van bio-effluenten ten gevolge van menselijke aanwezigheid. Kooldioxide (CO₂) wordt vaak als marker gebruikt voor de luchtkwaliteit ten gevolge van door de mens geproduceerde verontreinigingen. Overeenkomstig een advies van de gezondheidsraad uit 1984 wordt in Nederland een CO₂ concentratie van 1200 ppm beschouwd als bovengrens. De bron van deze

CO₂ is de mens en deze bovengrens is gekomen om geurhinder door aanwezige personen te voorkomen. Deze grenswaarde, ook wel hygiënische grenswaarde genoemd, is vervolgens gehanteerd als grondslag voor de ventilatie-eisen in het Bouwbesluit voor de woon en slaapkamers. Een andere grondslag is het afvoeren van vocht in keuken, badkamer en toilet. Hogere concentraties dan 1200 ppm duiden op onvoldoende luchtverversing in de woon en slaapkamer. In 2010 heeft de Gezondheidsraad¹⁸ in het kader van onderwijsruimten nieuwe literatuur in beschouwing genomen, maar zag geen reden om af te wijken van de CO₂ grenswaarde van 1200 ppm. In het advies uit 2010 wordt aangegeven dat CO₂ slechts beperkt bruikbaar is als maat voor de binnenluchtkwaliteit, maar wel een goede indicator is voor de mate van luchtverversing.

Stap 4

Luchtreinigers kunnen in bepaalde gevallen worden ingezet voor emissies die niet vermeden kunnen worden, bijvoorbeeld buitenluchtverontreiniging bij natuurlijke ventilatie met open ramen of roosters. Ze adresseren meestal onvoldoende gasvormige verontreinigingen, zoals bijvoorbeeld NO₂.

4.2 Stap 1 Bronaanpak open verbranding en koken op gas

Overstappen van koken op gas naar elektrisch koken voorkomt voor 100% het ontstaan en vrijkomen van verbrandingsgassen ten gevolge van de gasverbranding. Bij toepassing van elektrische kookplaten is een inductiekookplaat het zuinigst. Volgens Milieucentraal^a gebruikt een inductiekookplaat 175 kWh per jaar. Een keramische kookplaat verbruikt 30% meer, 225 kWh per jaar. Een weerstands kookplaat is het minst zuinig met 260 kWh per jaar. De meeste elektrische kookplaten vereisen twee groepen in de meterkast. Het aanleggen hiervan inclusief de stroomdraad en het perilex stopcontact kost volgens Milieucentraal circa 600 euro. Oudere huizen hebben vaak nog een 1 x 25 A aansluiting, die voor elektrisch koken omgezet moet worden naar 3 x 25 A. Dat kost eenmalig ruim 200 euro. Inductiekookplaten zijn te koop van € 200 tot € 4000. In het laatste geval is de inductie gecombineerd met down-draft. Daarnaast is van belang dat je pannen geschikt moeten zijn voor inductie. Dit is te testen met een magneetje, blijft deze op de bodem plakken dan is de bodem geschikt. Nieuwe pannen kosten vanaf een paar tientjes tot een paar honderd euro (afhankelijk van hoeveel je er nodig hebt en van de gewenste kwaliteit).

In oudere woningen kan er ook sprake zijn van keukengeisers waardoor eventueel ook verbrandingsgassen kunnen vrijkomen. Zeker indien de geisers ook worden gebruikt om mee te douchen neemt het risico op slechte luchtkwaliteit toe. In de meeste huurwoningen zijn deze geisers reeds vervangen door elektrische boilers of CV ketels. Nadeel van elektrische boilers is dat douchen ruim twee maal zo duur is dan op gas. In dit soort situaties is het ook mogelijk om de MEED te installeren, een energiezuinige douchecabine met ingebouwde close-in boiler en hoog-rendement douchewarmtewisselaar, die ruim 80% van de warmte uit het douchewater terugwint^b.

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

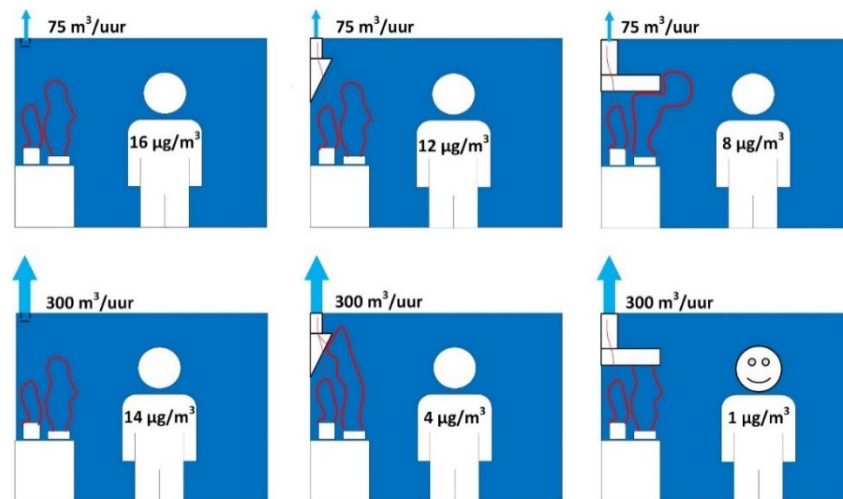
^b <https://www.meed-solutions.com/producten>

Open haarden en kachels gebruiken lucht uit de kamer waar ze staan. Als er niet genoeg luchttoevoer is kan onderdruk in de kamer ontstaan en kan in de schoorsteen stromingsomkering optreden. In dat geval stromen voor de gezondheid schadelijke verbrandingsgassen zoals koolmonoxide en fijnstof de kamer in. Daarom is het bij stoken absoluut noodzakelijk om een raam of ventilatieroosters open te zetten. Gesloten kachels met een eigen luchttoevoer zijn veiliger. De GGD^c adviseert ook om een koolmonoxidesensor in de kamer op te hangen. Houtstook kan ook bij burens tot overlast en mogelijk ook tot gezondheidsschade leiden. Het beste is om geen hout te stoken, doe je het toch volg dan de tips van de GGD^d.

4.3 Stap 2 Vermijden van kookdampen door compartimentering in combinatie met afzuiging - Kookafzuiging

De huidige bouwbesluit eis voor afvoercapaciteit in de keuken (ruimte met opstelplaats voor kooktoestel) bedraagt 75 m³/uur. Deze capaciteit is met name gebaseerd op de benodigde vochttafvoer uit de keuken om vocht en schimmel te voorkomen. Ook indien op het in de keuken aanwezige afvoerventiel bij dit luchtdebiet een motorloze afzuigkap wordt aangesloten, wordt slechts 25 tot 60% van de verontreinigingen afgevoerd. TNO stelt voor om de eis voor kookafzuiging in de bouwregelgeving te herzien naar minimaal 300 m³/uur¹³.

Bij een open keuken zullen verontreinigingen in de keuken zich ook verspreiden naar de woonkamer. Figuur 5 laat het effect zien van verschillende typen kookafzuiging op de blootstelling aan fijnstof.



Figuur 5 Effect van wel en geen kookafzuiging op de jaargemiddelde PM_{2.5} concentratieverhoging in de keuken/woonkamer¹³. De vermelde debieten zijn de mechanische debieten tijdens het koken, na het koken is gerekend met 100 m³/uur in woonkamer/keuken.

^c <https://ggdleefomgeving.nl/lucht/houtrook/houtrook-en-gezondheid/>

^d <https://ggdleefomgeving.nl/lucht/houtrook/wat-kun-je-zelf-doen/>

De plaatjes laten het principe zien dat je fijnstof ten gevolge van bakken en braden het best direct kunt afvangen voordat het zich verspreid over de keuken/woonkamer¹². Daarnaast is het van belang dat de afzuigkap net zo groot is als de kookplaat.

Een goede beschrijving van de verschillende opties voor kookafzuiging en de voor- en nadelen wat betreft luchtkwaliteit, energieverlies en comfort wordt in een LenteAkkoord publicatie^e gegeven, waaruit Tabel 1 integraal is overgenomen. Voor de benodigde afzuigcapaciteit is uitgegaan van een afzuigkap die aan de wand is bevestigd. In geval van eiland afzuigkappen en down-draft afzuigkappen is een hoger afzuigdebiet noodzakelijk van minimaal circa 425 m³/uur¹⁹.

Tabel 1 Opties voor kookafzuiging met inschatting van effectiviteit ten aanzien van luchtkwaliteit, energieverlies en comfort (geluid, kans op tocht en onderhoud), bron: LenteAkkoord Brochure *Betere kookafzuiging in nieuwbouw woningen*^a.

Principe	Opties	Luchtkwaliteit	Energieverlies	Comfort	
Afvoer direct naar buiten	Afzuigkap (300 m ³ /uur) met een aparte afvoer naar buiten, toevoer via gevelroosters (ventilatietype C).	Ongeïsoleerde doorvoer met lamellenrooster.	Green	Red	Red
		Geïsoleerde doorvoer met automatische afsluiting.	Green	Yellow	Red
		Afvoer via stijgkanaal bij appartementen.	Green	Yellow	Red
	Afzuigkap (300 m ³ /uur) met een aparte afvoer naar buiten en een aparte luchttoevoer.	Ongeïsoleerde doorvoeren, afsluiting met lamellenrooster.	Green	Red	Yellow
		Geïsoleerde doorvoeren met automatische afsluiting.	Green	Yellow	Green
		Afvoer via stijgkanaal bij appartementen.	Green	Yellow	Green
Afvoer via ventilatie	Afvoer via ventilatiepunt in de keuken (75 m ³ /uur conform Bouwbesluit), toevoer via gevelroosters (ventilatietype C).	Zonder afzuigkap.	Red	Yellow	Green
		Motorloze afzuigkap op ventilatie.	Red	Yellow	Yellow
	Ventilatie (type D) en kookafzuiging in geïntegreerd systeem.	Motorloze afzuigkap met apart kanaal naar wtw-unit en ventilatieregeling met kookstand (300 m ³ /uur).	Green	Green	Green
Hybride	Afvoer via ventilatie in combinatie met recirculatie. Alleen bij elektrisch koken.	Motorloos op ventilatie in lage stand. In hoge stand schakelt recirculatiemotor bij (samen 300 m ³ /uur). Met geur- en fijnstoffilter.	Green	Green	Yellow
Recirculatie	300 m ³ /uur. Alleen bij elektrisch koken.	Met alleen geurfilter.	Red	Green	Yellow
		Met geur- en fijnstoffilter.	Yellow	Green	Yellow

4.3.1 Vermijdt recirculatie

Recirculatie kookafzuiging (schouwkapen, eiland afzuigkappen en down-draft) is relatief makkelijk te installeren omdat geen afvoer naar buiten noodzakelijk is. Het bevat in de regel een actief koolfilter ter bestrijding van kookgeuren. Vocht wordt hiermee niet afgevangen en PM_{2,5} fijnstof ten gevolge van bakken en braden voor maar circa 30%³.

^e <https://www.lente-akkoord.nl/wp-content/uploads/2020/09/LA-factsheet-Betere-kookafzuiging-in-nieuwbouwwoningen.pdf>

Het effect van koken op gas in combinatie met recirculatie kookafzuiging is dat de verbrandingsgassen zich in de keuken ophopen, waardoor volgens onderzoek van de WHO² kinderen een 20% hoger risico lopen op longklachten dan in woningen waar elektrisch wordt gekookt.

Ook koken op gas in combinatie met een recirculatieafzuigkap met een ionisatie of plasmafilter kan risico's opleveren. Hierdoor bestaat de kans dat het relatief onschuldige stikstofdioxide wordt omgezet naar het veel schadelijkere stikstofdioxide. In indicatieve laboratoriumexperimenten³ bij TNO met één type plasmafilter werden hierdoor stikstofdioxideconcentraties vastgesteld nabij de wettelijke 15 minuten grenswaarde voor deze stof.

4.3.2 *Kookafzuiging met afvoer naar buiten*

Een afzuigkap met een directe afvoer naar buiten kan via de gevel, via het dak of met een doorvoer via de kruipruimte. Hierbij is het van belang om in het stookseizoen het energieverlies te beperken als de afzuigkap niet wordt gebruikt. Hiervoor zijn speciale kleppen beschikbaar die pas open gaan als de afzuigkap in gebruik wordt genomen, meer informatie hierover is te vinden in de LenteAkkoord publicatie^f.

Het komt voor dat toekomstige bewoners van nieuwbouwwoningen aangeven dat ze in de keuken een afvoer naar buiten willen en dat ze door de ontwikkelaar of de aannemer worden ontmoedigd onder het mom van dat dan de garantie op de gevel vervalt of dat de woning dan niet meer aan de energie-eisen zou voldoen. Beide argumenten zijn niet plausibel. Als de doorvoer zorgvuldig wordt aangelegd, blijft de water- en dampwering behouden en treden geen extra condensrisico's op. De geveldoorvoer kan bij oplevering afgedicht worden opgeleverd, veelal kost dit circa 300 euro. De energieprestatie hangt niet af van de aanleg van een afvoerkanaal naar buiten. Dit omdat kookafzuiging niet in de energieprestatieberekening wordt meegenomen. Ook de luchtdichtheid van de woning verandert niet omdat tijdens de luchtdichtheidsmeting de afzuigkap wordt afgeplakt.

De locatie van de gevelafvoer dient aan artikel 7.22 van het Bouwbesluit 2012 te voldoen. Hierin wordt gesteld dat de eigenaar van een erf geen hinder mag toebrengen aan de eigenaren van andere erven door het verspreiden van stank, rook of gassen. Een gevelafvoer is dus niet overal mogelijk.

In het bouwbesluitartikel is geen concrete eis voor de locatie van de afvoer geformuleerd. Aanhouden van artikel 3.33, lid 3, waarin een afstand tussen een uitmonding voor luchtverversing en de perceelsgrens van minstens 2 meter wordt voorgeschreven zou mogelijk hiervoor een goede basis kunnen zijn^g.

Bij plaatsing van down-draft kookeilanden in eengezinswoningen is ook vaak afvoer mogelijk via de kruipruimte door een gat in de vloer uit te zagen. Er zijn systemen waarbij een kanaal door de kruipruimte wordt aangelegd wat in de tuin uitkomt^d. De kosten hiervoor zijn afhankelijk van de benodigde boringen en de toegankelijkheid van de kruipruimte.

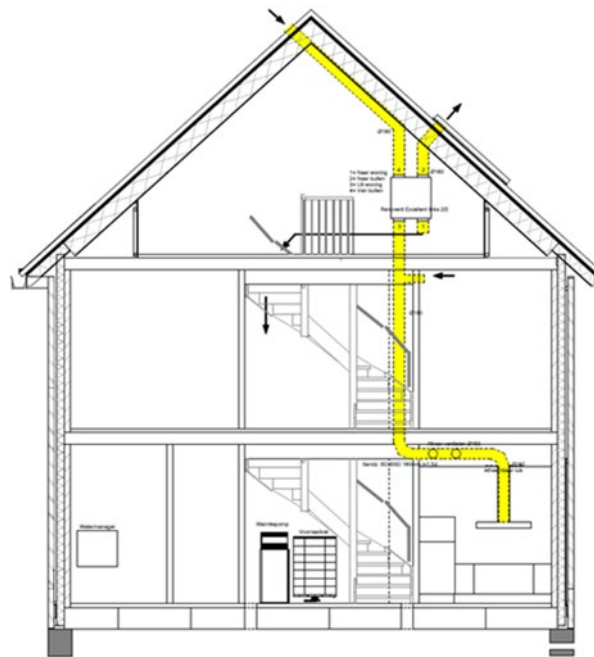
^f <https://www.lente-akkoord.nl/wp-content/uploads/2020/09/LA-factsheet-Betere-kookafzuiging-in-nieuwbouwwoningen.pdf>

^g <https://www.nieman.nl/wp-content/uploads/2016/02/Afzuigkap-als-extra-afvoervoorziening.pdf>

In appartementen is een gevelafvoer voor een afzuigkap vaak niet mogelijk in verband met hinder bij bovengelegen burens. Bij voorkeur dient het gebouw bij het ontwerp te worden voorzien van loze leidingen naar het dak waarop de kookafzuiging kan worden aangesloten. Een andere mogelijkheid is om in het ontwerp van het ventilatiesysteem voldoende afzuigcapaciteit voor de keukenventilatie op te nemen. In bestaande appartementen is het vaak niet te vermijden om toch (voor een deel) recirculatie toe te passen. Hierbij is het dan in ieder geval verstandig om niet op gas te koken en over te stappen op elektrisch koken. Fijnstof kan voor een groot deel worden afgevangen door een gecombineerd filter voor geur- en fijnstof. Ook zijn zogenaamde hybride afzuigkappen beschikbaar, die deels direct afvoeren en deels ook de kooklucht filteren en naar binnen recirculeren.

4.3.3 Afvoer via ventilatie

In Tabel 1 is er slechts één optie die op alle drie de aspecten luchtkwaliteit, energieverlies en comfort goed (groen) is beoordeeld. Dat is de afvoer van de kookdampen via een motorloze afzuigkap, die is aangesloten op het woningventilatiesysteem dat zo is ontworpen dat in de keuken 300 m³/uur afvoercapaciteit beschikbaar is. In geval van balansventilatie is het energieverlies laag omdat in het stookseizoen de warmte uit de kooklucht wordt teruggewonnen, dit concept is in de NeroZero woning toegepast, zie Figuur 7. Omdat de motor van het ventilatiesysteem wordt gebruikt is de afzuigkap fluisterstil. Om vervuiling te voorkomen is het van belang dat de afzuigkap een goed vetfilter heeft (klasse A).



Figuur 6 Ontwerp luchtafvoerkanalen en kookafzuiging in NeroZero woning¹³.

4.4 Stap 3 Ventilatie - Ventilatie van de slaapkamer

Zoals in paragraaf 3.3 toegelicht zijn in Nederlandse woningen met name de slaapkamers slecht geventileerd. In woningen uitgerust met natuurlijke toevoer van ventilatielucht via gevelroosters in combinatie met mechanische afvoer kan door het loef-lijzijde probleem (zie Figuur 4) een slechte luchtkwaliteit in de slaapkamer ontstaan.

In een luchtdichte woning kan het probleem van onvoldoende geventileerde zijzijde slaapkamers deels worden opgelost door toepassing van zelfregelende roosters. Deze kunnen bijvoorbeeld bij glasvervanging worden toegepast. Wat betreft binnenluchtkwaliteit en energiegebruik is de beste oplossing om in elke slaapkamer een mechanische toe- of afvoer toe te passen.

Veel mensen zijn gewend om 's ochtends de slaapkamers te luchten. Zeker in het stookseizoen hoeft luchten echter geen uren te duren. Zodra de vochtige en vervuilde lucht is afgevoerd leidt luchten niet tot verdere verbetering van de luchtkwaliteit, terwijl het luchten van zelfs een onverwarmde ruimte in het stookseizoen wél zorgt voor een extra energieverbruik equivalent aan 50 tot 100 m³ gas per jaar²⁰. Dit komt omdat je door het luchten de slaapkamervloer afkoelt wat extra warmteverlies in de daaronder gelegen woonkamer tot gevolg heeft.

Algemene overwegingen om te kiezen voor een bepaald type ventilatiesysteem:

- Op geluid belaste locaties kan balansventilatie meerwaarde hebben omdat gevelroosters mogelijke geluidslekken opleveren.
- Nabij een drukke weg heeft balansventilatie als voordeel dat de buitenlucht van deeltjes kan worden gefilterd.
- Bij gebruik van lage temperatuur verwarming, zoals vloerverwarming in de woonkamer, kan balansventilatie een voordeel geven omdat hiermee in principe minder tochtklachten zijn te verwachten dan bij natuurlijke toevoer van ventilatielucht via gevelroosters²¹. De mate van tochtklachten hangt ook af van de kwaliteit van de gevelroosters. Uit klimaatkameronderzoek volgt dat bij toepassing van elektronische roosters de laagste luchtsnelheden optraden, gevolgd door zelfregelende (winddrukgestuurde) roosters en ongeregelde open/dicht roosters.
- Op wind belaste locaties zoals hoogbouw is balansventilatie in het voordeel;
- In bestaande woningen is veelal mechanische afvoer makkelijker in te bouwen dan balansventilatie omdat vaak de afvoerkanalen in de natte ruimten al in de woning aanwezig zijn. Echter om loef- en zijzijde effecten te vermijden wordt voor de slaapkamers aanbevolen om in elke slaapkamer een mechanische toe- of afvoercomponent toe te passen. Op basis hiervan is er geen duidelijk verschil wat betreft inbouwgemak. Een oplossing voor balansventilatie in bestaande woningen is dat de lucht via ventilatoren tussen de gang en de slaapkamer/woonkamer wordt ingeblazen^h.
- Bij bestaande woningen kan decentrale ventilatie een voordeel hebben wat betreft inbouw.

Ventilatiesystemen in nieuwbouwwoningen dienen aan de geluids- en capaciteitseisen van het Bouwbesluit 2012 te voldoen. Voor verblijfsruimten bedraagt het installatiegeluid maximaal 30 dB(A), om geluidshinder te voorkomen.

^h <https://www.brinkclimatesystems.nl/oplossingen/ventilatie/multi-air-supply>

Deze waarde geldt voor de stand waarin het luchtdebiet van het ventilatiesysteem aan de capaciteit van het bouwbesluit voldoet en wordt bepaald volgens NEN 5077. Dit is lang niet altijd het geval. Bij metingen in 45 woningen in het kader van het SecureVent project²² voldeed in 19 woningen het geluid in de woonkamer en in 10 woningen voldeed het geluid niet in de hoofdslaapkamer.

4.5 Voorkomen van vocht en schimmel

Navolgende handreikingen zijn overgenomen uit de aanbevelingen van de studie Vocht en schimmelvorming in woningen⁸.

Bouwkundig

- Repareer lekkende daken en muren, en voorkom optrekkend vocht via de vloer en de fundering;
- Realiseer een isolatiewaarde (R_c) groter dan 2,5 m² K/W in geval van renovatie.
- Hanteer de volgende streefwaarden voor luchtdoorlatendheid van de woning:
 - 30 dm³/s bij 10 Pa voor gestapelde laagbouw, flatwoningen en appartementen;
 - 60 dm³/s bij 10 Pa voor eengezinswoningen.
- Zorg voor een goede detaillering/afwerking van koudebruggen ter plaatse van kozijnen en bij overgangen tussen gevel en vloeren én vloer en balkon.
- In geval van renovatie kan dit bijvoorbeeld worden bereikt door een geïsoleerde opbouw aan te brengen bij de overgang tussen gevel en vloeren of te kiezen voor het volledig vervangen van de gevel.

Installatietechnisch

- Het toepassen van een mechanisch afzuigstelsel waarmee een instelbare ventilatie continu onderhouden kan worden (dus niet alleen een uit- en aanschakelende ventilator zonder verdere regeling aangebracht op één of meerdere afzuigpunten). Zorg dat dit stelsel voldoet aan de huidige geldende geluidseis voor nieuwbouw (<30 dBA);
- Zorg er bij een collectief ventilatiesysteem voor dat de ventilatie/afzuiging per woning door de bewoner kan worden ingesteld, zodat deze de ventilatie op de actuele situatie in de woning kan aanpassen;
- Toets de ventilatiestromen van het mechanische ventilatiesysteem aan de eisen van het Bouwbesluit: minimale afzuiging op vertrekniveau 75 m³/h in de keuken, 50 m³/h in de badkamer, en 25 m³/h op het toilet.
- Om loef- en lijzijde effecten te vermijden wordt voor de slaapkamers aanbevolen om in elke slaapkamer een mechanische toe- of afvoercomponent toe te passen.

Ventilatie advies

Analyse van de Woon2018 data geeft aan dat betere ventilatie is geassocieerd met 50% minder vocht en schimmel in de woon- en slaapkamer⁸. Betere ventilatie houdt volgens deze analyse in dat bewoners:

- In geval van mechanische afzuiging deze in hoogstand te zetten bij gebruik van de keuken en de badkamer. Met name na gebruik van de badkamer de afzuiging tot circa 1,5 uur door te laten draaien in hoogstand, of gedurende de complete dag in de middenstand. In de zomer kan ook als alternatief een badkamerraam worden opengezet.
- Bij normale bezetting het ventilatiesysteem in hoogstand te laten staan, ook tijdens het slapen.
- Roosters of klepramen te openen voor zover aanwezig in (in ieder geval) de vertrekken waar men aanwezig is.
- Ramen te gebruiken voor het snel afvoeren van vocht, met name in de badkamer, en het afvoeren van andere verontreinigingen.

4.6 Overzicht van maatregelen en globale kostenschattingen

Tabel 2 geeft een overzicht van maatregelen die de binnenluchtkwaliteit verbeteren. De kosten zijn indicatief, hangen af van het merk en type product en kunnen met name indien het bouwkundige werkzaamheden betreft sterk verschillen. Om deze reden is bij Vocht en schimmel geen indicatie gegeven. Naast een verbetering van de binnenlucht kunnen bepaalde maatregelen ook het comfort verhogen en energie besparen.

Tabel 2 maatregelen om luchtkwaliteit in woningen te verbeteren met inschatting van complexiteit om de maatregel en een indicatie

Contaminant	type	maatregel	complexiteit	Indicatieve kosten
PM _{2.5} door kaarsen	bron	Elektrische waxinelichtjes en kaarsen	laag	2 – 20 euro
Verbrandingsgassen	bron	Overstappen op inductief koken	middel	1000 - 5000 ⁱ
PM _{2.5} uit buitenlucht	compartimentering	Vervangen grof toevoerfilter in balansventilatiesysteem door F7 filter	laag	10 – 20 euro/jaar
PM _{2.5} bakken en braden	compartimentering	Afzuigkap met afvoer naar buiten via 150 mm geveldoorvoer, inclusief koof	middel	1000 – 2000 euro
PM _{2.5} stofzuiger	compartimentering	HEPA filter in stofzuiger plaatsen	laag	20 – 35 euro
Bio effluenten (CO ₂ als marker)	ventilatie	Vervangen ventilatieroosters door zelfregelende roosters	middel	500 - 1000 ^j
Bio effluenten (CO ₂ als marker)	ventilatie	Installeren mechanisch ventilatiesysteem met in elke verblijfsruimte een toe- en/of afvoer, CO ₂ geregeld	hoog	2000 – 5000
PM _{2.5} diverse bronnen	luchtreiniging	Installeren van luchtreinigers in de verblijfsruimten (woonkamer en hoofslaapkamer)	laag	1000
Vocht en schimmel	divers	Bouwkundige, installatietechnische en gedragsmaatregelen	Laag - hoog	Afhankelijk van situatie

ⁱ Inductie gecombineerd met down-draft kookafzuiging

^j Meerkosten bij glasvervanging

5 Literatuur

1. WHO. *Review of Evidence on Health Aspects of Air Pollution - REVIHAAP Project: Technical Report.*; 2013.
2. WHO. *WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants.*; 2010.
3. Jacobs P, Cornelissen E. Efficiency of recirculation hoods with regard to PM_{2.5} and NO₂. In: *Healthy Buildings 2017 Conferentie.* ; 2017.
4. Jacobs P, Hoes ECM, Vijlbrief O, Kornaat W. Openbaar eindrapport TKI Be Aware Bewustwording van binnenluchtkwaliteit in woningen: bronnen en effectieve energie-efficiënte interventie strategieën. 2020.
<https://repository.tno.nl/islandora/object/uuid:2b40ecf6-f819-4fbb-93a9-514799c27568>.
5. Mishra AK, van Ruitenbeek AM, Loomans MGLC, Kort HSM. Window/door opening-mediated bedroom ventilation and its impact on sleep quality of healthy, young adults. *Indoor Air.* 2018;28(2):339-351.
doi:10.1111/ina.12435
6. Strøm-Tejsen P, Zukowska D, Wargocki P, Wyon DP. The effects of bedroom air quality on sleep and next-day performance. *Indoor Air.* 2016;26(5):679-686. doi:10.1111/ina.12254
7. Jantunen M, Oliveira EF, Carrer P, Kephelopoulos S. *Promoting Actions for Healthy Indoor Air (IAIAQ).*; 2011. doi:10.2772/61352
8. Kornaat W, Borsboom W, Kleinepier T, Strien R Van. *Vocht En Schimmelvorming in Woningen Bevindingen En Handreikingen Op Basis van WoON2018 En Energiemodule 2018.*; 2020.
<https://www.woningmarktbeleid.nl/onderwerpen/aanpak-vocht-en-schimmel/alle-illustratieve-artikelen/bevindingen-en-handreikingen-van-tno-abf-research-en-ggd-amsterdam>.
9. Pekkanen J, Hyvärinen A, Haverinen-Shaughnessy U, Korppi M, Putus T, Nevalainen A. Moisture damage and childhood asthma: A population-based incident case-control study. *Eur Respir J.* 2007;29(3):509-515.
doi:10.1183/09031936.00040806
10. Schram-Bijkerk D, Van Kempen EEMM, Knol AB. The burden of disease related to indoor air in the Netherlands: Do different methods lead to different results? *Occup Environ Med.* 2012;70(2):126-132.
doi:10.1136/oemed-2012-100707
11. Logue JM, Price PN, Sherman MH, Singer BC. A method to estimate the chronic health impact of air pollutants in U.S. residences. *Environ Health Perspect.* 2012;120(2):216-222. doi:10.1289/ehp.1104035
12. Jacobs P, Borsboom W, Koene F, et al. Ventilatiesysteem met kookafzuiging. *TVVL Mag.* 2018;(2):40-43.
13. Jacobs P. *Openbaar Eindrapport VentKook Ventilatiesysteem Met Goede Kookafzuiging.*; 2018.
<https://projecten.topsectorenergie.nl/storage/app/uploads/public/5c8/683/2e9/5c86832e9f0d8059461253.pdf>.
14. Dongen J Van, Vos H. *Gezondheidsaspecten van Woningen in Nederland - TNO Rapport 2007-D-R0188/A.*; 2007.
15. Holsteijn RCA, Li WL. *Resultaten van Een Monitoring Onderzoek Naar de Binnenluchtkwaliteit- En Energieprestaties van Ventilatiesystemen in de Woningbouw.* ; 2014.
16. Jacobs P, Borsboom W, De Gids W. Indoor air quality in Nearly Zero Energy Buildings, reduction of exposure. In: *AIVC Conference.* ; 2019.
17. Jacobs P, Kornaat W, Borsboom W. Fijnstof bij het koken - het effect van kookafzuiging op fijnstofconcentraties in woningen. *Bouwfysica.* 2017:15-17.
18. Gezondheidsraad. *Binnenluchtkwaliteit in Basisscholen.*; 2010.

- doi:10.1007/s12508-010-0670-9
19. Jacobs P, Vijlbrief O, Cornelissen HJM. *Openbaar Eindrapport TKI Efficiënte Kookapparatuur Als Een Service - TNO 2020 R11612.*; 2020.
 20. Jacobs P. Ventilatie in nieuwbouwwoningen met balansventilatie. *TVVL Mag.* 2012:14-19.
 21. DWA. *Comfortbeleving in Goed Geïsoleerde Woningen Met Ventilatiesysteem C En Lage Temperatuurverwarming.*; 2016.
 22. Kornaat W et al. *Openbare Eindrapportage TKI SecureVent Energiebesparing En Luchtkwaliteit Goed (in)Geregeld - Eenvoudige Methodieken Voor de Borging van de Integrale Prestatie van Luchtinstallaties in Woningen - TNO 2020 R10833.*; 2020.

6 Ondertekening

Delft, 16 september 2021

TNO

Ir. A.C. Westerlaken
Afdelingshoofd

ir. P. Jacobs
Auteur