



Rijksdienst voor Ondernemend  
Nederland

## Effecten en gevolgen van ventilatie

EOS-LT DP 2015 WP1.2

Datum 2012

Ing. W.F. de Gids, Ir. P. Jacobs, Ing. P. de Jong,  
Ing. J.C. Phaff

In opdracht van Agentschap NL (nu Rijksdienst voor  
Ondernemend Nederland)

Publicatienr RVO-170-1501/RP-DUZA  
[www.rvo.nl](http://www.rvo.nl)

Dit rapport is tot stand gekomen in opdracht van het ministerie van  
Economische Zaken.



**Technical Sciences**  
Van Mourik Broekmanweg 6  
2628 XE Delft  
Postbus 49  
2600 AA Delft

[www.tno.nl](http://www.tno.nl)

T +31 88 866 30 00  
F +31 88 866 30 10  
[infodesk@tno.nl](mailto:infodesk@tno.nl)

## TNO-rapport

**TNO-060-DTM-2011-00612**

# Een onderzoek naar de effecten en gevolgen van ventilatie

*Op weg naar vraaggestuurde ventilatie*

Datum April 2012 (versie 2)

Auteur(s) Ing. W.F. de Gids  
Ir. P. Jacobs  
Ing. P. de Jong  
Ing. J.C. Phaff

Exemplaarnummer

Oplage

Aantal pagina's 47 (incl. bijlagen)

Aantal bijlagen

Opdrachtgever Agentschap NL

Projectnaam EOS LT Duurzame projectontwikkeling 2015

Projectnummer 034.21477/01.01 (EOS LT 03001)

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, 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 belang-hebbenden is toegestaan.

© 2011 TNO

## Samenvatting

In het kader van het EOS LT programma is in werkpakket 1.2 van het project "Duurzame Projectontwikkeling gebaseerd op duurzaam bouwen, renoveren en wonen na 2015" onderzoek gedaan naar de effecten en gevolgen van ventilatie. De resultaten van dit onderzoek zijn in dit rapport vastgelegd. Daarnaast beoogt dit rapport inzicht te geven in wat ventilatie betekent en hoe in de toekomst ventilatie kan worden gestuurd op basis van de bepalende variabelen die een rol spelen bij het verontreinigen van de binnenlucht en het realiseren van een comfortabel binnenklimaat.

Het betreft meer in het bijzonder de effecten van ventilatie op:

- de mogelijke verstoring van het thermisch comfort door te hoge luchtsnelheden
- het handhaven van een temperatuur waardoor de beleving van het thermisch comfort binnen zekere grenzen kan blijven
- het cognitief en fysiek presteren van mensen
- de gezondheid van mensen
- het energiegebruik van gebouwen

De effecten en gevolgen van ventilatie met betrekking tot verontreinigingen die van buiten de woning kunnen komen, zijn in dit onderzoek niet in beschouwing genomen.

De belangrijkste conclusies die op basis van dit onderzoek kunnen worden getrokken zijn:

- De belangrijkste agentia die het binnenmilieu bepalen en ventilatie gerelateerd zijn, betreffen:
  - emissies van bouw- en inrichtingsmaterialen (formaldehyde, VOC's en radon)
  - stikstofdioxide (NO<sub>2</sub>) en koolmonoxide (CO) van verbrandingstoestellen
  - inadembaar stof
  - vocht en micro-organismen
  - bio-effluenten met kooldioxide (CO<sub>2</sub>) als marker
  - verontreinigingen afkomstig van buiten
- De strategie ter beperking van de blootstelling van mensen binnenshuis bestaat in eerste instantie uit het terugdringen van de niet noodzakelijke bronnen.
  - Verbrandingsproducten NO<sub>2</sub> en CO worden in woningen vrijwel zeker behoorlijk beperkt door toepassing van gesloten gastoestellen en elektrische vormen van koken.
  - De overheid voert een productbeleid waarbij wordt uitgegaan van een minimale ventilatie die in Nederlandse woningen vrijwel niet wordt overschreden. Bij deze ventilatie mag het product geen negatieve effecten op de gezondheid veroorzaken.
- Omdat er nog geen geschikte en betaalbare sensoren zijn voor het sturen van de ventilatie op basis van te hoge concentraties aan VOC, is het vooralsnog noodzakelijk altijd een minimum ventilatie van 0,15 dm<sup>3</sup>/s per m<sup>2</sup> vloeroppervlakte aan te houden, ook als personen niet aanwezig zijn.

- Er zijn geen wetenschappelijke bewijzen dat het binnenmilieu in Nederlandse woningen geschaad wordt door de huidige ventilatie en hun systemen.
  - Een relatie met negatieve effecten op de gezondheid is niet aantoonbaar.
  - Wel zijn er aanwijzingen dat de ventilatie de prestatie van personen en de gezondheid van luchtweg gevoelige personen kan beïnvloeden.
- Op basis van deze studie lijken wijzigingen in het uitgangspunt dat in woningen met ongeveer 7 dm<sup>3</sup>/s per persoon moet worden geventileerd niet noodzakelijk.
- Voor de vochtafvoer is het in bepaalde perioden van het jaar wel noodzakelijk de spuiventilatie te gebruiken.
- Voor het realiseren van een goed thermisch comfort is een goed ontwerp en een goede regeling van de ventilatie- en de spuivoorzieningen noodzakelijk.
  - Goede zelfregelende gevelroosters kunnen tochtklachten voorkomen.
  - Voor een goede beheersing van de binnentemperatuur in de zomer is de aanwezigheid van inbraakvrije spuivoorzieningen noodzakelijk.
- Voor de belangrijkste verontreinigingen en voor het beheersen van vocht en temperatuur in de woning is een ventilatiestrategie opgesteld die bij vraagsturing zou kunnen worden gehanteerd. Deze ventilatie strategie handhaaft minimale eisen aan het binnenmilieu en minimaliseert het energiegebruik.
- Om het aandeel van ventilatie in het energiegebruik terug te dringen, zijn trendbreukachtige maatregelen of ontwikkelingen noodzakelijk. Dit zal gerealiseerd moeten worden door toepassing van onder andere vraaggestuurde ventilatie en een verhoogde ventilatie efficiëntie. Het energiegebruik door ventilatoren en regelsystemen dient eveneens te worden beperkt.
- Optimale vraagsturing van ventilatie levert een optimaliseringsprobleem op waarbij de volgende parameters moeten worden geoptimaliseerd:
  - luchtkwaliteit
  - binnentemperatuur
  - luchtbeweging
  - luchtvochtigheid
  - energiegebruik
  - kosten

# Inhoudsopgave

	<b>Samenvatting .....</b>	<b>2</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding .....</b>	<b>5</b>
1.1	Aanleiding .....	5
1.2	Doelstelling .....	6
<b>2</b>	<b>Verontreinigingen in de binnenlucht .....</b>	<b>7</b>
2.1	Algemeen.....	7
2.2	Stoffen die het binnenmilieu verontreinigen .....	9
2.3	Overzicht gemeten waarden in woningen .....	13
<b>3</b>	<b>Ventilatie en vocht .....</b>	<b>16</b>
3.1	Algemeen.....	16
3.2	Vochtproductie in woningen .....	16
3.3	Processen die bij vocht een rol spelen .....	17
<b>4</b>	<b>Ventilatie en thermisch comfort.....</b>	<b>20</b>
4.1	Verstoring door te hoge luchtsnelheden.....	20
4.2	Beheersing van de temperatuurstijging bij hoge warmtelast.....	22
<b>5</b>	<b>Ventilatie en menselijk presteren.....</b>	<b>24</b>
5.1	Ventilatie en prestaties van leerlingen in scholen .....	24
5.2	Advies Gezondheidsraad Binnenlucht in scholen .....	25
5.3	Slotopmerkingen.....	25
<b>6</b>	<b>Ventilatie en gezondheid .....</b>	<b>26</b>
6.1	Wat is gezondheid .....	26
6.2	Aanwijzingen in de literatuur.....	26
<b>7</b>	<b>Ventilatie en de bepalende grootheid voor de regeling.....</b>	<b>30</b>
7.1	Noodzaak van vraagsturing.....	30
7.2	Regeling naar plaats en tijd .....	31
7.3	Regelgrootheden en gewenste ventilatiestromen .....	32
7.4	Een voorbeeld van een toegepaste ventilatie strategie voor schoollokalen.....	35
<b>8</b>	<b>Ventilatie en energiegebruik.....</b>	<b>37</b>
8.1	Noodzaak tot verwarmen en energiegebruik.....	37
8.2	Transportenergie voor ventilatie .....	38
<b>9</b>	<b>Conclusies.....</b>	<b>40</b>
<b>10</b>	<b>Literatuur .....</b>	<b>42</b>
<b>11</b>	<b>Ondertekening .....</b>	<b>47</b>

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

Ventilatie van gebouwen is noodzakelijk om de in die gebouwen verblijvende mensen van voldoende verse lucht te voorzien en mogelijke verontreinigingen af te voeren. Ventilatie is dus een maatregel om de binnenluchtkwaliteit in ruimten op een zodanig niveau te regelen dat zich geen negatieve effecten op de gezondheid van mensen zullen voordoen. Redenen om te ventileren kunnen dus zijn:

1. het voorkomen van een tekort aan zuurstof
2. het afvoeren van stoffen die door de mens zelf worden geproduceerd
3. het afvoeren van vluchtige stoffen die afkomstig zijn uit bouw- en inrichtingsmaterialen
4. het voorkomen van geurhinder
5. het creëren van een temperatuur, vochtigheid en luchtbeweging in een ruimte opdat mensen zich behaaglijk voelen.

Het voorkomen van een tekort aan zuurstof is weliswaar van belang, maar speelt in de praktijk vrijwel geen rol. Als het niveau van ventilatie wordt bereikt waarbij zuurstoftekort zou optreden, hebben andere verontreinigingen zoals vocht en CO<sub>2</sub> reeds lang duidelijke signalen van slechte luchtkwaliteit afgegeven, zoals condensvorming op de wanden en benauwdheidsklachten.

De rijksoverheid heeft in het Bouwbesluit [1] eisen gesteld aan de luchtverversing van ruimten. De overheid heeft daarbij als uitgangspunt dat ventilatievoorzieningen aanwezig zijn waarmee aan redelijke eisen van luchtverversing kan worden voldaan. Daarbij speelt het gebruik van de voorzieningen door de gebruikers van het gebouw een belangrijke rol. De ventilatie moet door de gebruiker kunnen worden geregeld. In de Nederlandse regelgeving wordt met betrekking tot de ventilatie-eisen geen rekening gehouden met roken in gebouwen. Emissies van bouw- en inrichtingsmaterialen mogen de ventilatie-eisen niet bepalen. Het beleid van de overheid is er op gericht dat andere bronnen van verontreiniging dan effluënten van mensen bij een laag, vrijwel nooit te onderschrijden ventilatieniveau, geen problemen mogen veroorzaken [2].

De effecten van ventilatie zijn op verschillende vlakken merkbaar. Ventilatie beïnvloedt de luchtstroming in een ruimte en daarmee de verspreiding van stoffen die zich in de lucht bevinden of in de lucht worden gebracht. Een te sterke luchtbeweging kan bij een te lage temperatuur van de lucht leiden tot lokale afkoeling waardoor tochtklachten kunnen ontstaan. Klachten over tocht ten gevolge van ventilatie komen regelmatig voor en zijn vaak aanleiding om de ventilatie te beperken door de ventilator op een lage stand te zetten of een rooster of raam dicht te doen of verder dicht te regelen. Ventilatie heeft dus invloed op het comfort. Ventilatie heeft niet alleen invloed op het comfort bij warmtevraag. Ook bij het beheersen van de binnentemperatuur in perioden met warmtelast en hoge binnentemperaturen speelt ventilatie een steeds belangrijker rol.

Ventilatie betekent toevoeren van buitenlucht en afvoeren van verontreinigde binnenlucht. Bij lage buitentemperaturen (lager dan 5 tot 10 °C) kan de vrije warmte

in gebouwen onvoldoende zijn om de binnenlucht tot de gewenste temperatuur te verwarmen. Er is dan verwarming nodig. Dit verwarmen heeft energiegebruik tot gevolg. Door de steeds zwaarder wordende energieprestatie-eisen voor gebouwen is het terugdringen van de ventilatie naar het minimaal vereiste niveau noodzakelijk. Dit leidt tot een beter op de vraag (behoefte) afgestemde ventilatie. Critici wijzen erop dat dit ook tot gezondheidsklachten kan leiden. Dit laatste is echter wetenschappelijk niet aangetoond. Niettemin ligt er duidelijk een wens om na te gaan op welk niveau er werkelijk geventileerd dient te worden om gezondheidsklachten door te lage ventilatie te minimaliseren.

Het doel van ventilatie is verversing van binnenlucht met buitenlucht. Het is van belang hierbij te beseffen dat dit kan plaatsvinden via 3 verschillende mechanismen:

- via verdunning
- via verdringing
- via lokale afzuiging

In het algemeen kan worden gesteld dat in woningen de werking van ventilatie meestal via verdunning geschiedt. Lokale afzuiging komt met afzuigkappen ook voor, maar speelt toch een minder belangrijke rol dan de verdunningswerking. Verdringing komt tot op heden in woningen vrijwel niet voor. Lokale verdringing waarbij lucht in de nabijheid van personen wordt toegevoerd is veel effectiever dan verdunning maar vereist ook een veel gecompliceerdere technische oplossing.

In het kader van het EOS LT programma zijn binnen het project "Duurzame Projectontwikkeling gebaseerd op duurzaam bouwen, renoveren en wonen na 2015" [3] in werkpakket WP1 twee taken geformuleerd namelijk WP 1.1 en WP1.2:

- WP 1.1 Literatuuronderzoek naar de verontreinigingen door de mens en de eisen op het gebied van ventilatie.
- WP1.2 Studie naar de meest relevante agentia en daaraan gerelateerde indicator voor regeling van de ventilatie in relatie tot comfort, gezondheid en energie.

In een eerdere rapportage is het literatuuronderzoek binnen taak WP 1.1 vastgelegd [4]. In deze rapportage wordt de studie binnen WP1.2 gerapporteerd.

## 1.2 Doelstelling

De doelstelling van dit onderzoek is te onderzoeken welke factoren de minimum ventilatie in ruimten bepalen, teneinde een oordeel te kunnen geven omtrent de parameters die relevant zijn voor de regeling van de ventilatie.

De volgende onderzoeksvragen staan in dit onderzoek centraal:

- Welke andere agentia dan die van de mens spelen in het binnenmilieu een rol in relatie tot ventilatie, thermisch comfort, prestatie en gezondheid.
- Op basis van welke parameters dient ventilatie te worden geregeld.



## 2 Verontreinigingen in de binnenlucht

### 2.1 Algemeen

Er zijn duizenden stoffen bekend die de binnenlucht van woningen kunnen verontreinigen. Dit rapport is geen alles omvattend overzicht van die verontreinigingen, maar beoogt de belangrijkste verontreinigingen, die in een woning een rol spelen en die door ventilatie beïnvloedbaar zijn, in kaart te brengen.

Naast verontreinigingen die afkomstig zijn van bronnen in woningen kunnen er ook verontreinigingen voorkomen in de buitenlucht die via de ventilatie de woning binnen komen. Ook transport door woningscheidende wanden of via de kruipruimte kan oorzaak zijn van verontreiniging van de binnenlucht. De effecten en gevolgen van ventilatie met betrekking tot deze verontreinigingen worden in dit rapport buiten beschouwing gelaten.

De belangrijkste bronnen van verontreiniging in woningen zijn onder te verdelen in vier groepen:

- Stoffen uit bouw- en inrichtingsmaterialen en het effect van vocht daarop
- Menselijke afscheidingsproducten (bio-effluenten)
- Stoffen die vrijkomen bij normaal menselijk handelen:
  - Vocht bij onder andere koken, wassen, douchen en het drogen van de was binnenshuis
  - Chemische verbindingen die vrijkomen bij persoonlijke verzorging
  - Vluchtige stoffen die vrijkomen bij onderhoudswerkzaamheden als verven, lakken en schoon maken
- Interne verbrandingsgassen: open haarden, CV ketels, boilers, koken, ovens, geisers en kaarsen (NO<sub>x</sub> en fijn stof).

De bovengenoemde verontreinigingsbronnen dienen allereerst te worden geminimaliseerd, dat wil zeggen daar waar mogelijk moet de productie ervan worden beperkt. Is dat praktisch niet meer mogelijk dan kan afscherming of het beperken van de verspreiding nog worden nagestreefd. Eenmaal opgemengd aanwezig in de binnenlucht is afvoer via ventilatie een proces dat door vele factoren wordt beïnvloed.

Bij het in de binnenlucht komen van verontreinigingen spelen de volgende factoren een rol:

- de verspreidingsmechanismen
  - snelheid en hoeveelheid (impuls)
  - diffusie
  - verdamping
  - desorptie
- de luchtbeweging of het stromingspatroon in de ruimte
  - verspreiding en menging
  - verspreiding en depositie
- de vorm waarin de verontreiniging vrijkomt
  - gasvormig, dampvormig of deeltjesvormig

- samenstelling
  - chemisch
  - fysisch
  - biologisch

Verontreinigingen binnen de woning kunnen op verschillende manieren worden afgevoerd, namelijk door:

- ventilatie
  - via verdunning, verdringing of lokale afzuiging bij de bron
  - het gebruik van de ventilatievoorzieningen door de bewoners
- chemische of fysische reactie
  - gebonden aan andere stoffen waardoor een verlaging van de concentratie in de binnenlucht ontstaat
- verdamping
- absorptie
- adsorptie
- het verschil van de soortelijke massa van de verontreiniging en de soortelijke massa van de binnenlucht (uitzakken door gravitatie)
- depositie op oppervlakken
- chemische omzetting en/of afbraak aan oppervlakken

De blootstelling van de mens aan een verontreiniging in de binnenlucht hangt verder af van:

- de verdeling van de stof over de ruimte
  - plaatselijke concentratie
- de positie waarin men ademhaalt
  - zittend
  - staand
  - liggend
- de tijd, de plaats en de activiteiten van de mens in de verschillende ruimten van de woning

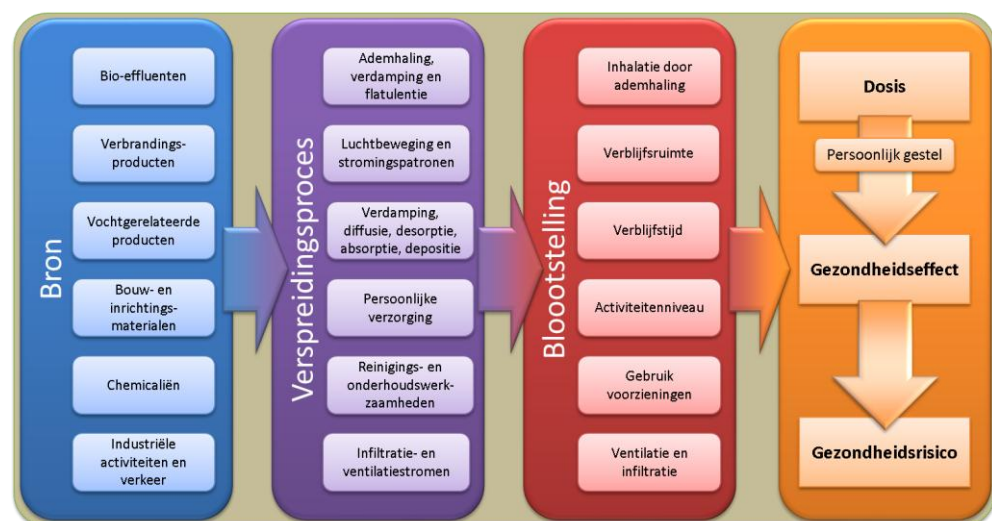
Dit totale proces bepaalt uiteindelijk de dosis die via ademhaling of de huid het menselijk lichaam binnentreedt. Indien van de stoffen die gewoonlijk in de binnenlucht voorkomen een dosis/effect relatie bekend is, zou men op basis daarvan het gezondheidsrisico kunnen bepalen (zie Figuur 1). Van de meeste stoffen is dit alles echter niet bekend. In principe voert de overheid een zogenaamd "bronbeleid". Dat wil zeggen dat bij een vrijwel niet te onderschrijden ventilatieniveau van een woning de concentratie van een bepaalde stof in de lucht niet hoger mag zijn dan de grenswaarde die voor die stof wordt gesteld.

Voor het bepalen van het minimale ventilatieniveau dat in Nederlandse woningen, inclusief een minimaal gebruik van de ventilatievoorzieningen, niet wordt onderschreden, wordt gebruik gemaakt van een daarvoor speciaal uitgevoerd onderzoek [4]. In dit onderzoek worden aanbevelingen gedaan omtrent het ventilatieniveau waarvan kan worden uitgegaan bij het uitvoeren van het bronbeleid. Voor stoffen die bij zeer korte blootstellingduur (orde circa 1 uur) hinder veroorzaken dan wel de gezondheid negatief zouden kunnen beïnvloeden, is het hiervoor genoemde ventilatieminimum gesteld op  $\frac{1}{6}$  van de eis die voor luchtverversing in het Bouwbesluit wordt geëist, namelijk 0,15 dm<sup>3</sup>/s per m<sup>2</sup>

oppervlakte van het verblijfsgebied. Voor stoffen die een effect hebben op langere termijn, bijvoorbeeld radon waarbij pas na jaren blootstelling effecten kunnen ontstaan, wordt uitgegaan van 0,55 dm<sup>3</sup>/s per m<sup>2</sup> oppervlakte van het verblijfsgebied.

De overheid heeft tot nu toe slechts voor formaldehyde een eis in het Bouwbesluit geformuleerd [1].

Het proces van verontreiniging en blootstelling in relatie tot ventilatie is zodanig complex dat de opvatting van mensen die zeggen: "Als er maar meer wordt geventileerd dan zijn we van alle problemen af." wel erg onwetenschappelijk en bovendien wat erg kort door de bocht is. Het gezond maken van de binnenlucht in woningen vraagt veel meer dan ventilatie. Niettemin speelt ventilatie naast het bronbeleid wel een zeer belangrijke rol.



Figuur 1. Schema van bron naar blootstelling en risico.

## 2.2 Stoffen die het binnenmilieu verontreinigen

### 2.2.1 Algemeen

De belangrijkste bronnen van luchtverontreiniging binnenshuis zijn:

- Bouw- en inrichtingsmaterialen (zoals beton, steenachtig pleisterwerk, behang, meubelen, en dergelijke):
  - Steenachtige materialen (radon)
  - Isolatiemateriaal (VOC en formaldehyde)
  - Hout (formaldehyde)
  - Plastic (VOC)
  - Behang (VOC)
  - Gordijnen (VOC)
  - Meubilair (formaldehyde)
- Onderhoudsmiddelen (VOC)
  - Verf
  - Beits
  - Lak

- Schoonmaakmiddelen (VOC)
  - Toiletreiniger
  - Wasmiddelen
  - Oplosmiddelen
- Middelen voor persoonlijke verzorging (VOC)
  - Crèmes
  - Nagel- en haarlakken
- Het gebruik van huishoudelijke apparatuur
  - Kook- en bakplaten (vocht, vet en fijn stof)
  - Ovens (fijn stof)
  - Warmwatergeiser (CO en NO<sub>2</sub>)

Bij de genoemde materialen en processen kunnen stoffen worden afgescheiden (agentia) die in de binnenlucht terecht komen en mogelijk nadelige effecten kunnen hebben op de gezondheid. In dit hoofdstuk wordt een globaal overzicht gegeven van de meest voorkomende agentia die in Nederlandse woningen een rol spelen en waarbij ventilatie een rol kan spelen ter vermindering van de blootstelling.

### 2.2.2 *Vluchtige organische stoffen*

De term “vluchtige organische stoffen” is een verzamelnaam voor een veelheid van allerlei chemische verbindingen. In de meeste literatuur wordt dit aangeduid met de Engelse term VOC (Volatile Organic Compound). Vluchtige organische stoffen kunnen bij kortdurende blootstelling irritatie van ogen en slijmvliezen veroorzaken. Bij langdurige blootstelling aan relatief hoge concentraties zijn ook gezondheidseffecten op allerlei organen niet uit te sluiten.

Vluchtige organische stoffen kunnen worden onderscheiden in vijf hoofdgroepen:

- Straight chain hydro carbons, bijvoorbeeld n-hexame, n-octane etc.
- Branched chain hydro carbons, bijvoorbeeld 3-methylpentaan, 3-methylhexaan
- Alicyclic hydro carbons, bijvoorbeeld dimethylcyclopentaan
- Aromatic hydro carbons, bijvoorbeeld benzeen, toluen en xyleen
- Chlorinated hydro carbons, bijvoorbeeld tetrachlooretheen, chloorbenzeen

Bij metingen kan in principe elke soort worden onderscheiden. Dit wordt echter vrijwel nooit gedaan. Zo vindt men in veel literatuur gegevens met betrekking tot de totale vluchtige stoffen (TVOC).

De overheid heeft bij de invoering van het Bouwbesluit overwogen een eis te stellen aan TVOC. Gedacht werd toen aan een waarde van circa 300 tot 500 µg/m<sup>3</sup>. In Duitsland wordt 300 µg/m<sup>3</sup> als grenswaarde voor TVOC gehanteerd. De Gezondheidsraad hanteert een advieswaarde van 200 µg/m<sup>3</sup>.

Omdat TVOC in de praktijk in Nederland toch relatief weinig problemen opleverden, is ervan afgezien voor Nederlandse gebouwen in het Bouwbesluit eisen te stellen aan andere vluchtige organische stoffen dan formaldehyde. In [12] is geconstateerd dat in 40% van de bemeten woningen de advieswaarde van de Gezondheidsraad wordt overschreden.

De belangrijkste bronnen voor vluchtige organische stoffen binnenshuis zijn verf en beits, vloerbedekking en kunststof inrichtingsmaterialen. Het lijkt er echter op dat

vooral persoonlijke verzorgingsmiddelen een steeds belangrijker rol gaan spelen. Het zou dan ook gewenst zijn, tijdens het gebruik van dit soort verzorgingsmiddelen goed te ventileren. Om verspreiding te minimaliseren is het aan te bevelen dit soort middelen in een ruimte te gebruiken waar afvoer rechtstreeks naar buiten plaatsvindt, bijvoorbeeld in de badruimte.

### 2.2.3 Radon

Verontreinigingen die normaliter afkomstig zijn van steenachtige materialen zijn eigenlijk alleen het radioactieve edelgas radon en de daarbij behorende vervalproducten. Radon dat tumoren kan veroorzaken, speelt in de Nederlandse woningen een vrij ondergeschikte rol.

In het Sawora onderzoek uit 1986 [5] wordt gerapporteerd dat de mediaan waarde, gemeten in Nederlandse woningen, circa 29 Bq/m<sup>3</sup> bedroeg en het aritmetisch gemiddelde 24 Bq/m<sup>3</sup>.

In een recente studie uit 2010 [6] wordt gemeld dat de gemiddelde radon concentratie 13 tot 14 Bq/m<sup>3</sup> zou bedragen. Hoewel duidelijk is dat de meettechniek voor radioactiviteitsmetingen in woningen de laatste jaren sterk is verbeterd, kan de verlaging niet worden anders worden verklaard dan dat de bouwmaterialen duidelijk minder radon afscheiden dan voorheen. De grenswaarden die in het algemeen internationaal worden gesteld, liggen rond de 50 tot 100 Bq/m<sup>3</sup>.

De overheid voerde de laatste jaren via een convenant met zowel de bouwmaterialen industrie als de ventilatie industrie een beleid ter vermindering van de blootstelling aan Radon. Er zijn in het Nederlandse woningbestand geen typische woningen te noemen waarbij de radon problematiek sterker speelt dan bij andere woningen. Behalve de keuze van bouwmaterialen is ook de bijdrage van de bodem waarop gebouwd wordt van belang.

### 2.2.4 Formaldehyde (HCHO)

Bekend is dat hout en houtproducten formaldehyde (HCHO) afscheiden. Dit is een vluchtige organische stof. Er was een tijd (rond 1970-1980) dat met name de toepassing van veel spaanplaat tot hinderlijke concentraties aan formaldehyde in de binnenlucht leidde. Op dit moment zijn zelfs bij woningen met houtskelbouw geen problemen bekend met betrekking tot formaldehyde.

De klachten die door blootstelling aan formaldehyde ontstaan, zijn vooral prikkelende ogen en irritatie van de slijmvliezen. De advieswaarde die wordt gehanteerd in Nederland bedraagt 1,0 µg/m<sup>3</sup> of 120 ppm. Formaldehyde is de enige stof waaraan in het Bouwbesluit een eis wordt gesteld. Daarbij gaat de overheid ervan uit dat 50% van de maximaal toelaatbare concentratie mag worden veroorzaakt door bouwmaterialen. Voor de inrichtingsmaterialen is dus ook maximaal een bijdrage van 50% mogelijk.

De laatste jaren is met name door kwaliteitsverbetering van zowel bouw als inrichtingsmaterialen, formaldehyde vrijwel geen probleem meer in woningen.

### 2.2.5 Vezels

Isolatiematerialen en inrichtingsmaterialen kunnen vezels afscheiden. Isolatiematerialen bevinden zich normaal gesproken niet in een directe verbinding met de binnenlucht. Voor de regeling van de ventilatie spelen zij dus geen rol. Men

dient er wel op te letten dat in het geval dat een substantieel deel van de binnenlucht via de spouwconstructie de woning binnenkomt, de isolatie goed moet zijn afgewerkt om blootstelling aan vezels tot een uiterst minimum te beperken. De op dit moment toegepaste isolatiesystemen in muren, wanden en daken zijn zodanig dat van een afdoende maatregel op dit punt kan worden gesproken.

#### 2.2.6 *Inadembaar stof*

Deeltjes kleiner dan circa 10  $\mu\text{m}$  (PM10) vallen onder het zogenaamde fijnstof en kunnen via ademhaling in de longen komen en daar mogelijk gezondheidsschade veroorzaken. Over ultra fijnstof kleiner dan circa 100 nm is betrekkelijk weinig bekend. Verwacht wordt dat dit een grotere invloed heeft op onze gezondheid dan tot nu toe werd aangenomen [7]. De gezondheidkundige advieswaarde voor PM10 bedraagt als 24-uurgemiddelde 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en als jaargemiddelde 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  [8].

Een niet onbelangrijk deel van het inadembaar stof komt van buiten. Zeezout uit verstoven en verdampt zeewater, opgewaaid zand, rook uit openhaarden en wegverkeer zijn wel de belangrijkste bronnen. Ook binnen wordt echter stof geproduceerd onder andere bij koken, bakken, braden, het gebruik van papier en het vrijkomen van vezels uit textiel. Vooral bij luchtweg gevoelige kinderen kan fijn stof een negatief effect hebben op de gezondheid.

Inadembaar stof gedraagt zich in lucht vrijwel hetzelfde als gas. Het wordt met de luchtstroom meegenomen en verspreidt zich over de ruimte. Via ventilatie wordt daarom een belangrijke bijdrage geleverd aan het verminderen van de concentratie inadembaar stof dat binnenshuis wordt geproduceerd. Daarnaast vindt vermindering van de stofconcentratie plaats door depositie van stofdeeltjes op oppervlakken. Soms komt stof ook van buiten. In het geval dat dit tot onaanvaardbare binnenconcentraties leidt, is filtering gewenst.

#### 2.2.7 *Koolmonoxide*

Koolmonoxide komt vrij bij onvolledige verbranding. Het is een geurloos gas dat zwaarder is dan lucht. Jaarlijks komen er in Nederland mensen om ten gevolge van koolmonoxide vergiftiging. Oorzaken zijn meestal slecht afgestelde of slecht onderhouden kachels, geisers en open CV ketels in slecht geventileerde ruimten. Ook het roken van tabaksproducten verhoogt de concentratie aan CO binnenshuis met circa 1 tot 2  $\text{mg}/\text{m}^3$  in woningen [9].

De 8-uurgemiddelde grenswaarde die wordt gehanteerd voor CO bedraagt 10  $\text{mg}/\text{m}^3$  [8]. Er zijn echter aanwijzingen dat dit voor bepaalde groepen in de samenleving, bijvoorbeeld zwangere vrouwen, nog te hoog is. De grenswaarde wordt in een normale woning met goede apparatuur, die bovendien goed wordt onderhouden, niet overschreden, ook niet bij een vrijwel niet te onderschrijden ventilatieniveau van 0,15  $\text{dm}^3/\text{s}$  per  $\text{m}^2$  vloeroppervlakte.

Een gelukkige ontwikkeling is dat steeds meer gastoestellen, zowel voor CV als voor warm tapwater, gesloten worden uitgevoerd waarbij er geen interactie meer is met de binnenlucht. Een waarschuwing is hierbij echter op zijn plaats. Een risico vormen leidingschachten waar rookgasafvoer- en verbrandingsluchttoevoerleidingen lopen. Als deze leidingen niet goed aansluiten of er sifonvormige bochten bestaan waardoor condenswater de leiding kan blokkeren, kunnen hoge CO-concentraties ontstaan die de woning in kunnen lekken. Er zijn

namelijk geen eisen aan de ventilatie van leidingschachten. Verkeerd gemonteerde of losgeschoten leidingen zijn in deze schachten ook nauwelijks te detecteren. Deze combinatie maakt dit probleem verraderlijk.

Omdat het koken steeds meer elektrisch, keramisch of met inductie plaatsvindt, wordt de CO-emissie als gevolg van het koken steeds minder.

#### 2.2.8 *Stikstof dioxide*

Ook stikstofdioxide (NO<sub>2</sub>) komt vrij bij verbranding. Vooral open gastoestellen zoals het gasfornuis en de afvoerloze open warmwater geiser zijn de belangrijkste producenten van NO<sub>2</sub>. Stikstofdioxide heeft invloed op de longfunctie en kan luchtweg gerelateerde klachten veroorzaken. De open warmwater gasgeiser is geleidelijk geheel aan het verdwijnen. Koken wordt steeds minder op gas gedaan zodat deze bron geleidelijk aan minder wordt in woningen.

De gezondheidkundige advieswaarde voor NO<sub>2</sub> bedraagt als 24-uursgemiddelde 40 µg/m<sup>3</sup> en als uurgemiddelde 200 µg/m<sup>3</sup> [8].

#### 2.2.9 *Microbiologische verontreinigingen*

Als belangrijkste bronnen van microbiologische verontreinigen in woningen kunnen worden genoemd:

- De mens
- Huisdieren
- Huisstofmijt allergeen
- Schimmels

Opgemerkt wordt dat voor de mens alleen de pathogene micro-organismen van belang zijn. Er zijn geen dosis effect relaties bekend omtrent microbiologische verontreinigingen in het binnenmilieu. Het effect op mensen betreft veelal luchtwegirritaties of overgevoeligheid maar ook allergische reacties.

Voedingsbodems voor huisstofmijt zijn vooral matrassen. Bij concentraties lager dan circa 50 ng/g stof werden geen aan huisstofmijt te relateren gezondheidsklachten aangetroffen [10].

Voedingsbodem voor schimmels vooral plaatsen waar langdurig condensatie kan optreden zoals koudebruggen in bouwconstructies. Soms wordt voor sporen van schimmels een grenswaarde van 500 KVE/m<sup>3</sup> gehanteerd.

De invloed van ventilatie op het ontstaan of groeien van micro-organismen is relatief klein. Ventilatie kan wel de blootstelling aan micro-organismen verminderen via verdunning of verdringing.

### **2.3 Overzicht gemeten waarden in woningen**

Voor de gemeten waarden in woningen wordt gebruik gemaakt van vier studies [11][12][13] [14] die overigens geen van allen een volledig beeld geven. In elke studie heeft wel iets anders centraal gestaan als vraagstelling en dus zijn ook andere grootheden gemeten. De bedoeling van Tabel 1 is enig inzicht te geven in de voorkomende niveaus van de belangrijkste verontreinigingen en bepalende variabelen.

Tabel 1. Overzicht van voorkomende niveaus van stoffen in Nederlandse woningen volgens 4 studies.

Onderzoek \ Grootheid	Lebret	v.d. Wal <sup>5</sup>	De Gids/ op 't Veld	van Dongen <sup>2</sup>
Aantal woningen	circa 330	70	30	circa 90- 1200
Aantal woning-complexen	3	2	3	landelijke steekproef
Meettijd	week	dagen	dagen	weken
Ventilatie [dm <sup>3</sup> /s]	niet gemeten	44- 216	17 -35	niet gemeten
CO <sub>2</sub> [ppm]	niet gemeten	360 – 1540 gem uurlijkse waarde 790	850 -1250	692
CO [mg/m <sup>3</sup> ]	2-40 <sup>1</sup>	0- 7 <sup>1</sup>	1-2	niet gemeten
NO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	28 -88	12- 100	niet gemeten	17,6
VOC 1 [µg/m <sup>3</sup> ]	39 -74 <sup>3</sup>	niet gemeten	niet gemeten	
VOC 2 [µg/m <sup>3</sup> ]	63 -100 <sup>4</sup>	niet gemeten	niet gemeten	
TVOC [µg/m <sup>3</sup> ]	niet gemeten	niet gemeten	30 - 160	288
HCHO [ppm]	niet gemeten	30 – 130	niet gemeten	12,9
Stof [µg/m <sup>3</sup> ]	56 - 61	7- 274 <sup>1</sup>	niet gemeten	niet gemeten

<sup>1</sup> de hoge waarden zijn gemeten bij intensieve rokers of slecht werkende open geisers

<sup>2</sup> week gemiddelde waarden

<sup>3</sup> straight chain hydro carbons

<sup>4</sup> aromatische hydrocarbons

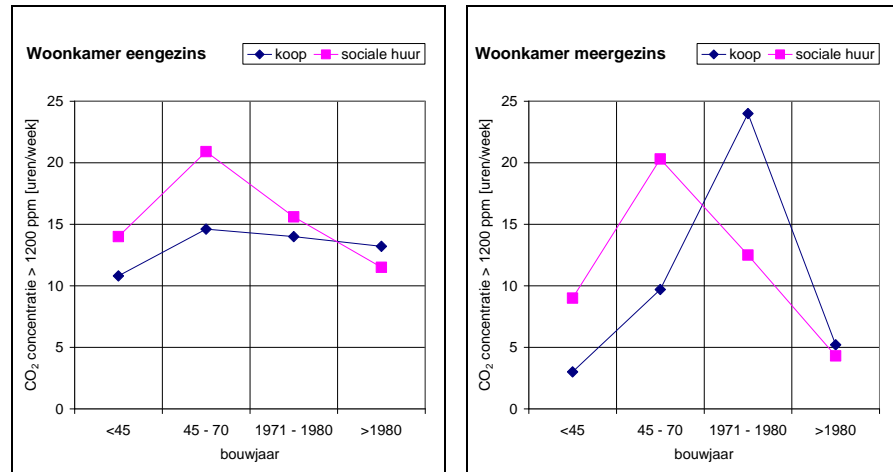
<sup>5</sup> acht uur gemiddelde waarden

Enkele algemene gevolgtrekkingen uit Tabel 1 en de daarvoor vermelde advies- of grenswaarden zijn:

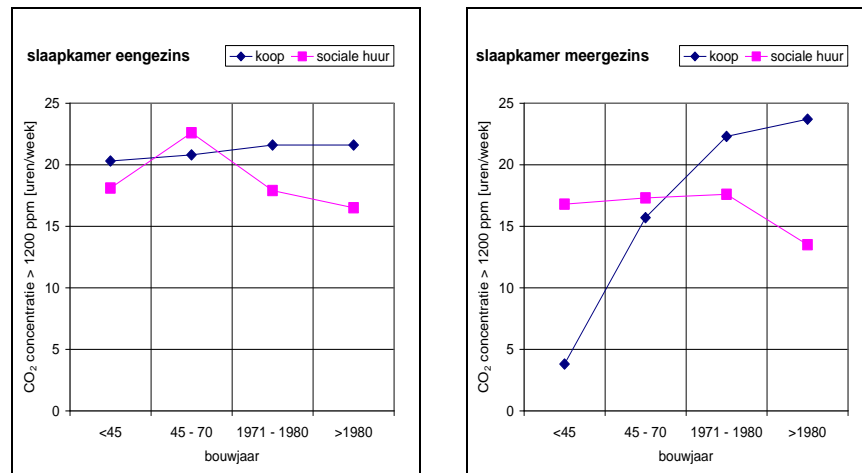
- De getallen zijn niet gemakkelijk te interpreteren en één op één te vergelijken. Het betreft namelijk soms gemiddelden, soms wordt uitsluitend de spreiding gerapporteerd en dus ook weergegeven. Ook zijn de gemiddelden soms over 8 uur, soms over 24 uur en soms over een week.
- De CO<sub>2</sub> grenswaarde van 1.200 ppm wordt vooral in de studie van Van de Wal overschreden.
- Koolmonoxide wordt eigenlijk alleen in situatie met intensieve rokers en slecht werkende apparatuur overschreden.
- Stikstof dioxide wordt nergens overschreden.
- De TVOC waarde van 288 µg/m<sup>3</sup> uit de studie van Van Dongen ligt duidelijk boven de advieswaarde van 200 µg/m<sup>3</sup>.
- De formaldehyde concentratie lijkt zeker in de studie van Van Dongen laag.
- De stofconcentratie lijkt ergens rond de grenswaarde te schommelen, maar in de studie van Lebret betrof dat toch vrij oude woningen met veel open gasapparatuur.



Indien bij de beoordeling van de CO<sub>2</sub>-concentratie meer gericht gekeken wordt naar het effect van de aanwezigheid van mensen, kan de grootheid “aantal uren per week met een concentratie hoger dan 1200 ppm” worden gebruikt. In de studie van Van Dongen blijken dan gedurende een substantieel deel van de tijd overschrijdingen op te treden. De overschrijdingen zijn hierbij afhankelijk van het type woning en het bouwjaar (zie figuur 2 en 3).



Figuur 2. Aantal uren per week waarbij de CO<sub>2</sub>-concentratie boven 1.200 ppm was in de woonkamer.



Figuur 3. Aantal uren per week waarbij de CO<sub>2</sub>-concentratie boven 1200 ppm was in de hoofdslaapkamer.

Men bedenke dat voor het regelen van de ventilatie plaats en tijd een belangrijke rol spelen terwijl de gegevens uit de tabel vrijwel altijd gemiddelde waarden over tijd en plaats betreffen. Voor de regeling van de ventilatie zijn die grootheden van belang die zich in de buurt van de grenswaarden bevinden of deze overschrijden. Op basis van genoemde onderzoeken zijn dat vooral TVOC, stof en CO<sub>2</sub>.

## 3 Ventilatie en vocht

### 3.1 Algemeen

Het vochtgehalte in woningen is van groot belang, vooral voor het ontstaan van microbiologische verontreinigingen. Vochtproblemen doen zich voor in ongeveer een vijfde van alle woningen. Het vochtgehalte is daarom zeker een parameter die bij vraaggestuurde ventilatie in beschouwing dient te worden genomen.

De luchtvochtigheid is van belang voor het comfort. Dit laatste is echter maar beperkt. Voor gezonde mensen geldt dat een relatieve vochtigheid (RV) tussen 35% en 70 % vrijwel geen invloed heeft op het comfort en welbevinden. Tijdens het stookseizoen kunnen relatieve vochtigheden van minder dan 35% optreden.

Binnenshuis wordt vocht voornamelijk geproduceerd door;

- Personen via ademhaling en zweetverdamping
- Activiteiten van personen die onvermijdelijk bij het wonen behoren zoals wassen douchen en koken
- Planten
- Vochttransport uit kruipruimte en van buiten via muren en daken

Als de RV langdurig lager is dan 20%, kunnen vooral gevoelige personen luchtwegirritaties en irritatie van de ogen krijgen. Bovendien ontstaat de mogelijkheid van ontlading van statische elektriciteit bij aanraking van voorwerpen of personen. Als de RV langdurig hoger is dan 80 %, neemt de kans op microbiologische verontreinigingen toe. De normale variatie van de luchtvochtigheid in woningen, uitgedrukt als de absolute vochtigheid in g water per kg droge lucht, bedraagt 2 tot 4 g/kg. Dit leidt bij normale bewoning en redelijke kwaliteit woning niet tot vochtproblemen [15].

### 3.2 Vochtproductie in woningen

De vochtproductie binnen de woning hangt af van het aantal bewoners het gedrag van die bewoners met betrekking tot vocht, bijvoorbeeld was drogen binnenshuis, baden of juist langdurig douchen. Een overzicht van de vochtproductie in een woning wordt gegeven in Tabel 2.

Tabel 2. Vochtproductie in woningen per aanwezig persoon.

Bron	kg per 24 uur
personen via ademhaling en zweetverdamping	0,7 – 1,4
koken	0,2 – 1,0
douchen	0,3 – 1,2
baden	0,4 – 0,8
was drogen binnen	0,0 – 0,4
planten	0,0 – 0,3

Naast de genoemde vochtbronnen in Tabel 2 produceren ook natte regenkleding, een natte paraplu, verdampingsbakjes aan de radiator, een tropisch aquarium en

het branden van kaarsen vocht. Bij de meeste huishoudens is deze bijdrage echter verwaarloosbaar klein. Een redelijk uitgangspunt is dat een persoon in een woning per 24 uur gemiddeld circa 2,5 kg vocht produceert. Voor een gezin van vier personen komt dat dus neer op circa 10 kg per 24 uur.

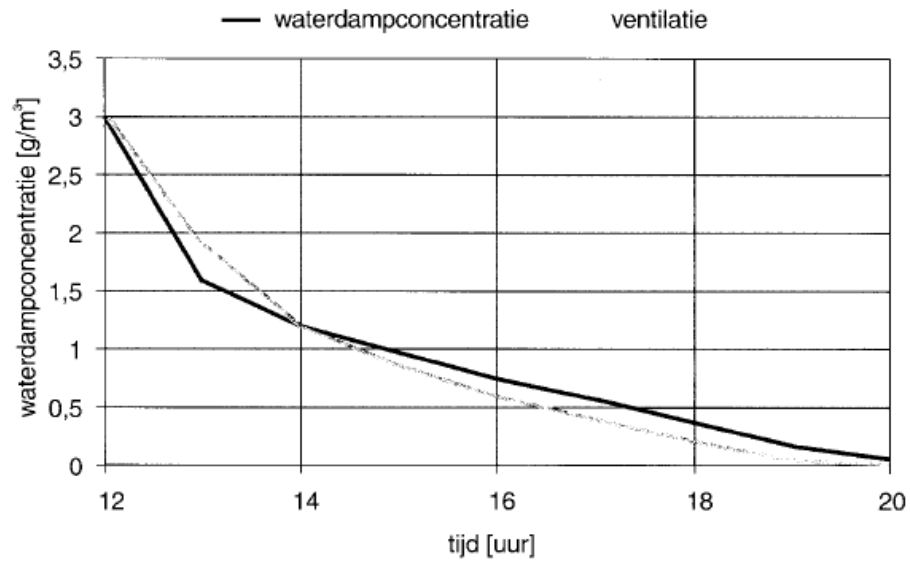
### **3.3 Processen die bij vocht een rol spelen**

Vocht heeft vele verschijningsvormen zoals water, ijs, sneeuw, hagel en stoom, maar voor het binnenmilieu is vooral vocht in de vorm van waterdamp van belang. Als zich teveel waterdamp in de lucht bevindt, kan condensatie optreden op koude vlakken of in materialen en constructies waarvan de temperatuur zich onder het dauwpunt bevindt. Condensatie hoeft dus niet altijd zichtbaar te zijn.

Er is een evenwichtsrelatie tussen de RV van de lucht en het vochtgehalte van bouw- en inrichtingsmaterialen. Reeds voordat condensatie op oppervlakken plaatsvindt, kan het vochtgehalte in materialen al zo hoog zijn, dat dit tot versterkte biologische verontreiniging leidt. Gecondenseerd vocht kan weer verdampen maar kan ook in poreuze oppervlakken trekken en dus worden geabsorbeerd. Als de RV in een ruimte daalt, kan resorptie van vocht optreden. Vocht dat na resorptie naar het oppervlak van een wand of plafond zal komen, kan weer verdampen.

Verdampen van vocht uit steenachtige oppervlakken is geen proces van minuten maar van uren en dagen. Condensatie, direct nat worden door water of waterdruppels en capillair transport zijn veel snellere processen. Hierdoor blijven bijvoorbeeld tegelwanden in badkamers meestal langdurig vochtig (>1 dag). Alleen ventilatie is niet afdoende om dit te voorkomen en schimmelvorming is in veel gevallen onvermijdelijk. Soms helpt een combinatie van ventileren en verwarmen van de ruimte. De enige oplossing hiervoor is het gebruik van waterdichte materialen.

Een voorbeeld van de vochtproductie door koken en de tijden van verdamping en condensatie is te vinden in Figuur 4 [16]. In dit experiment is gedurende 30 minuten 800 g water verdampt. De waterdampconcentratie in de ruimte bedroeg na die 30 minuten 3 g/m<sup>3</sup> lucht. In de figuur worden de gemeten waterdampconcentratie en de theoretische afname vanwege verdunning door ventilatie weergegeven. Hierdoor wordt inzichtelijk gedurende welke perioden vocht condensatie en absorptie van vocht optreden en gedurende welke periode door verdamping het gecondenseerde vocht weer vrijkomt. Duidelijk is te zien dat na de vochtproductie van 30 minuten er nog gedurende 2 uur condensatie en absorptie plaatsvindt terwijl in de 6 uur daarna nog steeds verdamping van het geproduceerde vocht plaatsvindt. Dit heeft belangrijke consequenties voor het ventileren in relatie tot vocht.



Figuur 4. Het verloop van de waterdampconcentratie bij een kookproef en de theoretische afname volgens verdunning door ventilatie.

Bij het douchen spelen dezelfde effecten als hiervoor genoemd een rol. In het algemeen zal men korter douchen dan 30 minuten en is de watertemperatuur geen 100 °C zoals bij koken. Bij het douchen is de watertemperatuur 38 tot 40 °C. De perioden van condensatie en verdamping zullen dus korter zijn. Wanneer achtereenvolgens meerdere personen douchen, is een tijdspanne van 30 minuten wel reëel. Bij het douchen wordt circa 1 g/s waterdamp in de lucht gebracht. Om 1g/s waterdamp met ventilatielucht af te voeren moet ten minste 0,12 kg/s lucht worden afgezogen [17]. Dit is ongeveer 100 dm<sup>3</sup>/s of 360 m<sup>3</sup>/h. Dit staat in schril contrast met de vereiste ventilatie voor badruimten uit het Bouwbesluit van 14 dm<sup>3</sup>/s.

De benodigde ventilatie om de stijging van de luchtvochtigheid in de woning te beperken tot 2 à 4 g/kg over 24 h is afhankelijk van de waterdampproductie. De waterdampproductie is afhankelijk van de gezinsgrootte. In Tabel 3 is de benodigde ventilatie opgenomen in relatie tot de gezinsgrootte en de stijging van de luchtvochtigheid. Deze is van belang voor het terugregelen van de ventilatie bij afwezigheid van personen.

Tabel 3. Minimale ventilatie van de woning over 24 h in dm<sup>3</sup>/s voor het beperken van de vochttoename, afhankelijk van de gezinsgrootte.

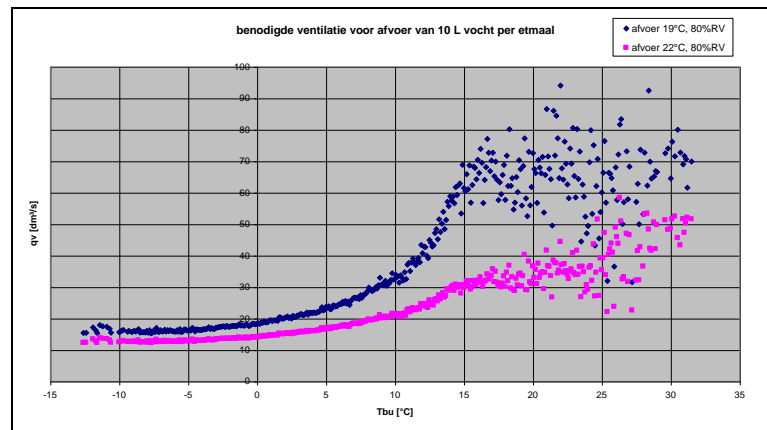
Gezinsgrootte \ Vochttoename	1 persoon	2 personen	3 personen	4 personen
Stijging 2 g/kg	12	24	36	48
Stijging 4 g/kg	6	12	18	24

Op basis van een beschouwing van TNO [18] kan worden vastgesteld dat er afhankelijk van de buitentemperatuur en de vochtcondities een bepaalde ventilatie van de woning noodzakelijk is. Dit is vooral in het najaar het geval. In Figuur 5 en Figuur 6 is de minimaal vereiste ventilatie voor een woning weergegeven als functie

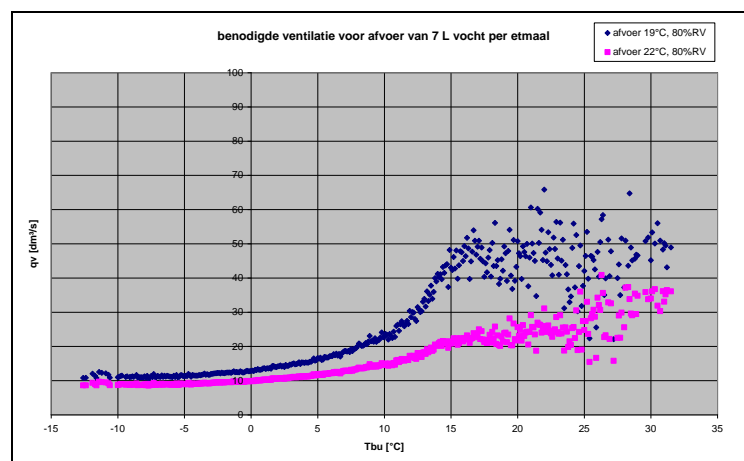
van de buitentemperatuur bij een vochtproductie van respectievelijk 10 en 7 liter per etmaal.

Uit Figuur 5 blijkt dat bij een vochtproductie in een woning van 10 l per etmaal er periodes zijn waarbij de minimaal vereiste ventilatie voor woningen van 42 dm<sup>3</sup>/s minder is dan de benodigde ventilatie. Bij temperaturen van circa 12 °C en hoger is de benodigde ventilatie meer dan 42 dm<sup>3</sup>/s. Als er vanuit wordt gegaan dat bij een buitentemperatuur van 15 °C en hoger de spuivoorzieningen van de woning in de vorm van draai- of kiepramen zeker regelmatig open staan om te luchten, zal de benodigde ventilatie weer gemakkelijk worden gerealiseerd. De in het Bouwbesluit geëiste minimale spuicapaciteit bedraagt namelijk 6 dm<sup>3</sup>/s per m<sup>2</sup> verblijfsoppervlakte. Bij een vochtproductie van 7 l per etmaal (Figuur 6) is een ventilatie van 42 dm<sup>3</sup>/s vrijwel altijd voldoende tot een temperatuur van circa 15 °C.

In een woning waarbij de luchtvochtigheid een grootheid is waarop kan worden geregeld, dient afhankelijk van de situatie dus extra ventilatie te worden gerealiseerd.



Figuur 5. De benodigde woning ventilatie afhankelijk de buitencondities bij 10 l vochtproductie.



Figuur 6. De benodigde woning ventilatie afhankelijk de buitencondities bij 7 l vochtproductie.

## 4 Ventilatie en thermisch comfort

### 4.1 Verstoring door te hoge luchtsnelheden

#### 4.1.1 *Eisen in de regelgeving*

Tocht is gewaarwording van lokale afkoeling van de huid of de ogen, waarbij de luchtsnelheid en de temperatuur een rol spelen. In het Bouwbesluit wordt voor de maximaal toelaatbare luchtsnelheid in ruimten ten gevolge van ventilatie een eis gesteld. Deze eis is een luchtsnelheid van maximaal 0,2 m/s in de leefzone van een ruimte gemeten volgens de bepalingmethode uit NEN 1087 [19]. Bedoeld is met name de situatie waarbij buitenlucht een lagere temperatuur heeft dan de ruimtelucht. Bij hoge temperaturen en zomerse omstandigheden en open ramen kunnen luchtsnelheden tot een paar meter per seconde nog comfortabel zijn. De bepalingmethode geeft aan dat in de leefzone in 10% van de meetplaatsen nog een overschrijding van de grenswaarden van 0,2 m/s mag optreden tot een maximum luchtsnelheid van 0,24 m/s.

#### 4.1.2 *Tochtklachten*

Ventilatie toevoervoorzieningen zoals klapramen en roosters in gevels veroorzaken regelmatig tocht. Uit de studie Landelijke Monitoring [20] blijkt dat in circa 30% van de Nederlandse woningen klachten zijn over tocht via natuurlijke luchttoevoer. In woningen die zijn gebouwd na 1992 bedraagt dit percentage 6%. Deze 6% betreft waarschijnlijk vrijwel zonder uitzondering gevelroosters, terwijl in het totale woningbestand vooral klapramen voor toevoer in gevels aanwezig zullen zijn.

De klachten over tocht door roosters en klapramen worden voornamelijk veroorzaakt door het gegeven dat roosters en klapramen worden ontworpen bij een drukverschil van 1 Pa behorend bij een windsnelheid van 2 m/s en een temperatuurverschil van 10 K. Een drukverschil van 1 Pa wordt gemiddeld circa 90 % van de tijd overschreden. Dus moeten bewoners hun roosters en ramen regelen, wat in een te beperkte mate in werkelijkheid geschiedt. De meeste mensen regelen klapramen en roosters alleen als ze er hinder van hebben, daarna blijven ze vaak dicht totdat iemand er weer eens aan denkt om ze te openen.

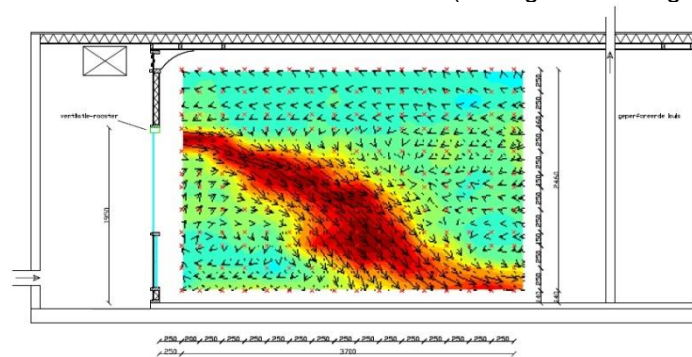
Roosters worden vrijwel altijd gedimensioneerd op de minimaal benodigde capaciteit en kunnen gemakkelijk traploos worden ingesteld op een gewenste opening. Klapramen daarentegen zijn meestal zwaar overgedimensioneerd en ook minder goed regelbaar. Verwacht mag dan ook worden dat klapramen aanzienlijk meer tochtklachten geven dan roosters. Niettemin is een betere regeling van roosters na te streven om tocht hinder zoveel mogelijk te beperken. Daartoe zijn de laatste jaren zelfregelende roosters door fabrikanten ontworpen en op de markt gebracht.

#### 4.1.3 *Zelfregelende roosters*

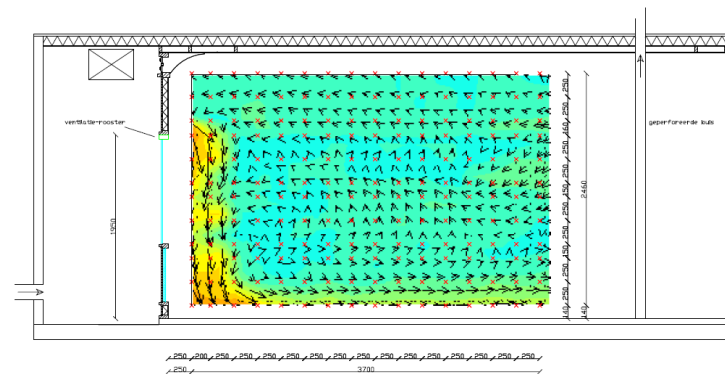
Zelfregelende roosters zijn roosters die de volumestroom trachten constant te houden onafhankelijk van het drukverschil erover. Zelfregelende roosters compenseren de variatie in de natuurlijke drijvende kracht (variërend drukverschil over roosters). Ze houden de luchtstroom constant door de doorlaat aan te passen aan het momentane drukverschil. Het is een misverstand dat deze roosters vooral bedoeld zouden zijn om hoge drukpieken bij harde wind te smoren. De belangrijkste

functie is om al bij lage drukverschillen de toevoer aan loefzijde te smoren, zodat de lucht wel (langer) aan lijzijde moet blijven toestromen. Het gaat dus vooral om het voorkomen van onbalans tussen loef- en lijzijde zodat geen dwarsventilatie optreedt. Hiervoor moet een goed zelfregelend rooster al bij geringe wind (0,5 à 1,0 Pa drukverschil over het rooster) de roosterdoorlaat aanpassen. Alleen zo kan onvoldoende ventilatie in kamers aan de lijzijde worden beperkt en wordt voorkomen dat de in figuur 2 en 3 optredende CO<sub>2</sub> overschrijdingsuren van gemiddeld 20 uur per week optreden.

Bij sommige fabrikanten begint de zelfregelende werking van het rooster pas vanaf een drukverschil van circa 5 Pa. Dit helpt wel om tocht deels te voorkomen, maar voorkomt niet dat aan de lijzijde de luchtkwaliteit minder wordt. Er zijn echter ook zelfregelende roosters die de stroom constant houden bij de ontwerpdruk van 1 Pa. Uit experimenteel onderzoek [21] blijkt dat dit een enorm positief effect heeft op de luchtsnelheden in de betreffende ruimte (zie Figuur 7 en Figuur 8).



Figuur 7. Strooming in een ruimte door een standaard rooster bij 10 Pa drukverschil.



Figuur 8. Strooming in een ruimte door een mechanische zelfregelend 1 Pa rooster bij een drukverschil van 10 Pa.

In Figuur 7 is de situatie weergegeven waarbij 10 Pa drukverschil over het geheel geopende roosters staat. De temperatuur van de binnenkomende lucht is circa 20 K lager dan die van de ruimte lucht. In het donkere roodachtige deel liggen de luchtsnelheden tussen 0,4 m/s en 1 m/s. Het gele deel is ongeveer 0,2 m/s tot 0,4 m/s. In het lichtblauw gekleurde deel is de snelheid kleiner dan 0,2 m/s.

In Figuur 8 is het donkere roodachtige deel geheel verdwenen. Er is slechts in de raamzone sprake van luchtsnelheden tussen 0,2 m/s en 0,4 m/s. Vrijwel de gehele

leefzone heeft luchtsnelheden die lager zijn dan 0,2 m/s. Het goed regelen van roosters is dus erg belangrijk om tochtthinder tot een minimum te beperken.

## 4.2 Beheersing van de temperatuurstijging bij hoge warmtelast

### 4.2.1 Trends

Door middel van het Bouwbesluit wordt er al gedurende tenminste 20 jaar naar gestreefd het energiegebruik in woningen te beperken. Hierdoor is de isolatie van de woningschil aanzienlijk verbeterd. Een gevolg hiervan is dat invallende zonnewarmte moeilijker uit de woning verdwijnt. Dit heeft de laatste jaren geleid tot een aanzienlijke klachtenstroom over veel te warme woningen. De toename van het aantal airconditioning units in woningen is daarvan een duidelijk teken.

Bij relatief hoge en onbehaaglijke temperaturen binnen is het mogelijk om via ventilatie op het juiste moment, namelijk vooral 's avonds en 's nachts, de temperatuurstijging voor een daarop volgende dag te beperken. Er wordt in dat geval gesproken van nachtventilatie of passieve koeling. Het is in elk geval een heel duurzame methode om het energiegebruik, voor de situatie waarbij sprake is van koelvraag in woningen, te reduceren.

### 4.2.2 Nachtventilatie of passieve koeling

Het principe van nachtventilatie of passieve koeling werkt als volgt:

- Als de buitentemperatuur aan de gevel ter plaatse van de aanzuigopeningen voor de luchttoevoeren lager is dan de binnentemperatuur, is maximalisatie van de ventilatie gewenst
- De gebouwmassa wordt dan afgekoeld, waardoor de temperatuurstijging bij een opnieuw hoge warmtelast de volgende dag kan worden beperkt.
- Als de buitentemperatuur hoger is dan de binnentemperatuur wordt de ventilatie geminimaliseerd tot het voor het binnenmilieu vereiste niveau.

Centraal hierbij staat dus het temperatuurverschil tussen binnen en buiten voor het afkoelen van de gebouwmassa gedurende de meestal nachtelijke uren. De realisatie hiervan lijkt gemakkelijker dan dit in werkelijkheid is. Ten eerste moet er voldoende bouwmassa en oppervlak beschikbaar zijn om werkelijk voldoende af te kunnen koelen. Ten tweede is het bepalen van het temperatuurverschil tussen binnen en buiten noodzakelijk. Ten derde zijn de luchtstromen die voor de normale handhaving van de luchtkwaliteit in een woning nodig zijn, veel te klein om echt een effectieve bijdrage aan deze passieve koeling te kunnen leveren.

Uit resultaten van verschillende studies [22][23] blijkt dat de benodigde volumestromen liggen rond de 2 tot 5 dm<sup>3</sup>/s per m<sup>2</sup> vloer oppervlakte. Dit is dus veel meer dan de 0,9 dm<sup>3</sup>/s per m<sup>2</sup> vloeroppervlakte die in het Bouwbesluit voor personen wordt geëist. De benodigde volumestromen zijn eventueel wel te realiseren met de grote draai- of kiepramen die als spuivoorziening voor woningen noodzakelijk zijn. Deze dienen, zoals al eerder opgemerkt, een capaciteit te hebben van 6 dm<sup>3</sup>/s per m<sup>2</sup> vloeroppervlakte.

Voor een woning met een gebruiksoppervlakte van circa 100 m<sup>2</sup> bedraagt de benodigde volumestroom voor nachtventilatie 200 – 500 dm<sup>3</sup>/s. Ruwweg is dit het vijf- tot tienvoudige van hetgeen voor personen wordt geëist. De beperking in temperatuurstijging kan bij een dergelijke spuicapaciteit circa 3 tot 4 graden



bedragen. In de Nederlandse Praktijk Richtlijn NPR 1090 Ventilatie van Scholen wordt de methodiek van passieve koeling gestimuleerd. Bovendien zijn enige ontwerpgegevens in deze NPR opgenomen [24].

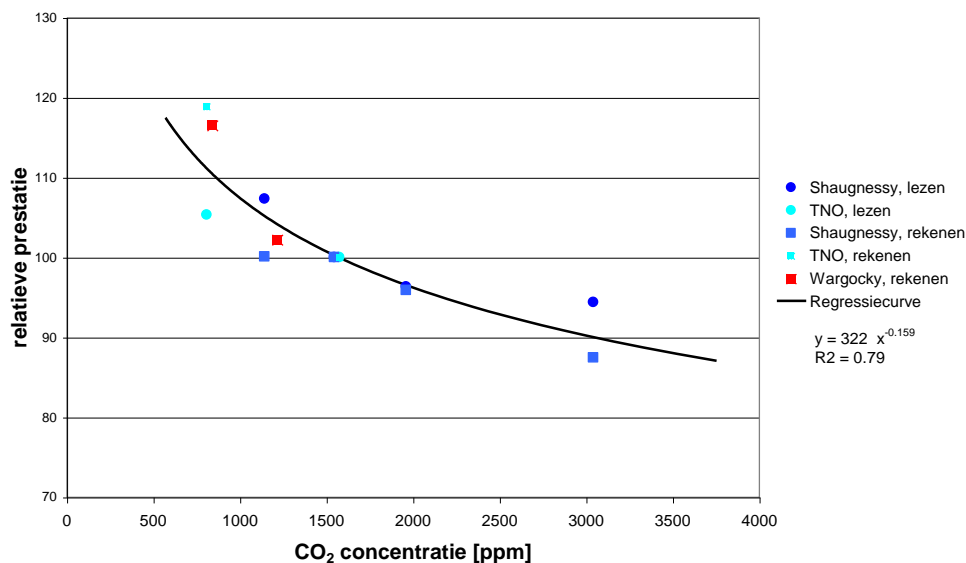
Een groot probleem bij de huidige spuivoorzieningen is de inbraakgevoeligheid van grote open ramen. Bij eengezinswoningen kan het spuien via grote ramen op de verdieping in de meeste situaties nog wel werken. Om dit op de begane grond of aan de galerijzijde van appartementen te doen, ligt niet direct voor de hand en zal ook vrijwel niet gebeuren. Er is dus behoefte aan inbraakvrije voorzieningen voor spuiventilatie ten behoeve van passieve koeling.

## 5 Ventilatie en menselijk presteren

### 5.1 Ventilatie en prestaties van leerlingen in scholen

Adequate ventilatie heeft een binnenmilieu tot gevolg waarin bij een adequaat bronbeleid geen nadelige effecten op de gezondheid mogen worden verwacht. Men kan daarbij de vraag stellen of mensen bij een goede ventilatie ook beter presteren. Er is vrijwel niets bekend over hoe zich dit in woningen manifesteert.

In andere gebouwen, met name in scholen, zijn verschillende studies uitgevoerd waaruit op zijn minst de indicatie komt dat ventilatie wel degelijk van invloed is op het menselijk presteren. In 2006 heeft TNO in opdracht van VROM de prestaties van leerlingen onderzocht bij vraaggestuurde ventilatie op basis van een CO<sub>2</sub>-concentratie van 800 ppm boven de buitenluchtconcentratie en bij een maximale CO<sub>2</sub>-concentratie van >1500 ppm. Het bleek dat de vraaggestuurde ventilatie 6% minder fouten in de taaltest opleverde en 23% minder fouten in de rekentest [25]. Uit een aantal in opzet en uitvoering verschillende onderzoeken in scholen blijkt de tendens naar voren te komen dat ventilatie van invloed is op prestaties van leerlingen in scholen [26][27]. Onderzoeken in de USA en Denemarken leveren soortgelijke resultaten op [28]. Een analyse van de resultaten van de verschillende onderzoeken is weergegeven in Figuur 9.



Figuur 9. De relatieve prestatie van leerlingen op scholen als functie van de CO<sub>2</sub> concentratie.

Hoewel er geen wetenschappelijke studies bekend zijn waarin bij lage CO<sub>2</sub>-concentraties minder gezondheidsklachten optreden, geven sommige studies wel een indicatie dat lage CO<sub>2</sub>-concentraties waarschijnlijk positief voor de prestaties van leerlingen in scholen kunnen zijn.

## 5.2 Advies Gezondheidsraad Binnenlucht in scholen

De Gezondheidsraad stelde op verzoek van VROM in 2008 een commissie in die advies moest uitbrengen omtrent de binnenluchtkwaliteit in basisscholen [29]. De commissie deed een zeer diepgaande analyse van alle beschikbare literatuur en kwam daarbij tot de conclusie dat er geen harde wetenschappelijke bewijzen zijn te leveren dat voor CO<sub>2</sub> niveaus tot circa 1500 ppm de prestaties van leerlingen worden beïnvloedt. De commissie adviseert een CO<sub>2</sub> concentratie van 800 ppm boven het niveau in de buitenlucht als maatstaf te nemen voor de benodigde ventilatie in basisscholen.

## 5.3 Slotopmerkingen

Het is duidelijk dat op basis van de beschikbare literatuur weinig harde conclusies kunnen worden getrokken omtrent de relatie tussen ventilatie en menselijk presteren. Voor de regeling en niveaus van ventilatie in woningen lijkt het van belang om na te gaan welke effecten lage ventilatieniveaus en dus hoge CO<sub>2</sub>-concentraties op personen in woningen zullen hebben. Hierbij kan gedacht worden aan het verslappen van de aandacht, concentratieverlies bij het studeren thuis en bijvoorbeeld aan het effect op de kwaliteit van het slapen.

## 6 Ventilatie en gezondheid

### 6.1 Wat is gezondheid

Gezondheid is een ruim begrip waaronder men zeer veel kan verstaan. De WHO (Wereldgezondheidsorganisatie) omschrijft gezondheid als volgt [30]: “Gezondheid is een toestand van volledig lichamelijk, geestelijk en maatschappelijk welzijn en niet slechts de afwezigheid van ziekte of andere lichamelijk gebreken.”

Het woord volledig is daarbij van essentieel belang, maar vormt tegelijkertijd een bron van discussie. Als de definitie strikt wordt gehanteerd hoort daar dus ook hinder en irritatie bij die geen blijvende schade veroorzaken met betrekking tot gezondheid. Hinder van binnenmilieufactoren zoals temperatuur en tocht behoort dus strikt genomen ook tot het ruime begrip gezondheid van de WHO.

Voor dit rapport zijn vooral de stoffen van belang die via de lucht in het lichaam komen. Ventilatie kan immers die verontreinigingen eventueel verdunnen, verdringen en/of afvoeren. Ventilatie wordt om die reden vaak in verband gebracht met luchtweg gerelateerde klachten zoals CARA, COPD en dergelijke. Dit hoofdstuk richt zich voornamelijk op de luchtweg gerelateerde aspecten van gezondheid.

### 6.2 Aanwijzingen in de literatuur

#### 6.2.1 *Advies Binnenluchtkwaliteit in basisscholen*

De Gezondheidsraad komt zeer recent naar aanleiding van het advies Binnenluchtkwaliteit in basisscholen [29] tot de conclusie dat van alle uitgebreid bestudeerde onderzoeken geen enkel onderzoek wetenschappelijk aantoont dat er een relatie bestaat tussen gezondheid en de binnenmilieufactoren die in die onderzoeken zijn bestudeerd. Zij merkt daarbij op dat dit niet betekent dat die relatie niet aanwezig is of kan zijn. De commissie vindt in de literatuur wel aanwijzingen van mogelijke effecten van het binnenmilieu op de gezondheid van mensen en het menselijk presteren. De commissie stelt verder dat door een toename van de ventilatie de blootstelling zal verminderen en daarmee ook de kans op nadelige gezondheidseffecten.

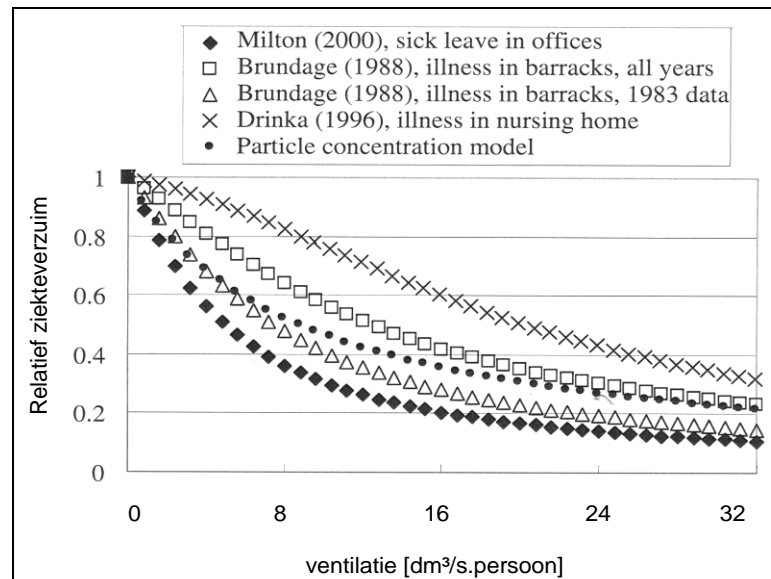
Ook anderen die de beschikbare literatuur hebben bestudeerd, komen tot de conclusie dat hoewel het voor de hand ligt een dosis respons relatie te verwachten tussen ventilatie en gezondheidsklachten, deze relatie niet is aangetoond [9].

#### 6.2.2 *Een overzicht van enkele in de literatuur gevonden effecten voor niet woongebouwen*

Een verhoging van de CO<sub>2</sub>-concentratie van 1.000 ppm boven de buitenluchtconcentratie levert een verhoging van het ziekteverzuim op van 10% tot 20% [31]. Om het overdragen van veel voorkomende ziektekiemen afdoende te beperken, zou de CO<sub>2</sub>-toename zelfs niet meer dan enkele honderden ppm mogen zijn [32]. In een studie [33] over infectieuze bacteriën komt men tot de conclusie dat ventilatie wel kan bijdragen tot het beperken van overdracht van ziekteverwekkende bacteriën. Opgemerkt moet worden dat het hier vooral tropische gebieden betreft met een relatief laag welvaartsniveau. Ventilatievouden van 10 per uur en meer

kunnen een belangrijke rol spelen bij het beperken van overdracht van bacteriën. Vermoedelijk gaat het hierbij niet zozeer om het ventilatievoud maar om de stromingsrichting van de lucht.

In Figuur 10 is het verband weergegeven tussen het relatieve ziekteverzuim en de ventilatie zoals vastgesteld in een aantal onderzoeken [34]. Ziekteverzuim blijkt volgens deze studies behoorlijk afhankelijk van het ventilatieniveau.



Figuur 10. Relatief ziekteverzuim gerelateerd aan de ventilatie.

In een studie naar het effect van binnenmilieufactoren op prestaties en ziekteverschijnselen in lokalen van een universiteit [35] komt men tot de conclusie dat een CO<sub>2</sub> concentratie hoger dan 1000 ppm hoofdpijn, vermoeidheid en irritatie van de slijmvliezen kan veroorzaken.

In het 6<sup>e</sup> kader EU-project EnVie “Co-ordination action on indoor air quality and health effects” [36] is een schatting gemaakt van het effect van diverse verontreinigingsbronnen op de ziektelast. Deze schatting is gebaseerd op het (subjectieve) expertoordeel van de EnVie-stuurgroep. Bij de schatting is gebruik gemaakt van de DALY-methode (“Disability-Adjusted Live Year”, een schatting van het verlies aan ‘gezonde’ jaren). Er wordt geschat dat binnenmilieuverontreinigingen een gemiddelde Europeaan een half jaar aan gezond leven kost. Hiervan is ruim de helft (52%) afkomstig van buitenbronnen. De rest is afkomstig van zeven groepen:

- Watersystemen, vocht en schimmel (17%);
- Verwarming en verbrandingsapparatuur, inclusief gasfornuizen (14%);
- Radon uit de bodem (5%);
- Meubels, decoratiematerialen, elektrische apparaten (6%);
- Schoonmaakmiddelen en andere huishoudelijke producten (3%);
- Ventilatie- en luchtbehandelingssystemen (2%);
- Bouwmaterialen (1 - 2 %).

Deze schatting is voor een gemiddelde Europese situatie. De bijdrage van de verschillende posten zullen per regio en binnen een regio zelfs per gebouw

verschillen. Wat betreft Nederland is geschat dat radon (2%) en verwarming en verbrandingsapparatuur (10%) een lager aandeel hebben en vocht (22%) en buitenlucht (56%) een groter aandeel hebben in de ziektelast.

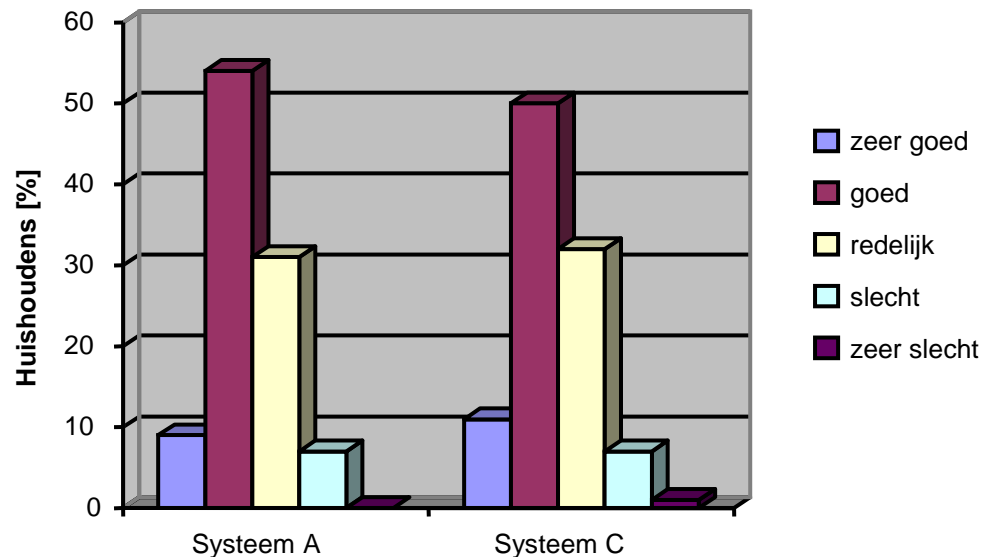
### 6.2.3 Gerapporteerde gezondheidseffecten en binnenmilieufactoren in Nederlandse woningen

Zoals ook hiervoor al aangegeven, bestaan er geen studies waarin gezondheidseffecten in de gebouwde omgeving wetenschappelijk worden aangetoond [9]. Er zijn wel studies beschikbaar waarin de gezondheid en het binnenmilieu centraal staan. Het betreft hier veelal onderzoek naar aanleiding van klachten van bewoners in woningen waarbij een hoge mate van energiebesparing is nagestreefd. De hypothese bij sommigen luidt:

Toenemende maatregelen om te komen tot het besparen van energie door verhoogde isolatie, betere en kierdichting leiden tot gezondheidsklachten.

In 2003 publiceerde Van Dongen een studie [37] waarbij de relatie tussen het EPC niveau en zelf gerapporteerde gezondheidsklachten centraal stond. Uit het onderzoek bleek geen directe relatie tussen het zogenaamde EPC niveau en gezondheidsklachten. Wel wordt de aanwijzing gegeven dat er mogelijk een indicatie bestaat voor lage EPC en gezondheidsklachten voor mensen die gevoelig zijn voor luchtweg gerelateerde verontreinigingen.

Uit de studie Landelijke Monitoring 2004 [20] blijkt dat gezondheidsklachten van bewoners niet samenhangen met de typen ventilatiesystemen in de onderzochte woningen (zie Figuur 11). De antwoorden op enquêtevragen uitgevoerd in circa 1000 huishoudens geven geen verschil in het oordeel over de gezondheid tussen woningen met natuurlijke toevoer en natuurlijke afvoer (systeem A) en woningen met natuurlijke toevoer en mechanische afvoer (systeem C).



Figuur 11. Oordeel van huishoudens over hun gezondheid.

In de onderzochte woningen werd geconstateerd dat bij 22% van de huishoudens een persoon aanwezig was waarbij door een arts was vastgesteld dat er luchtwegproblemen waren.

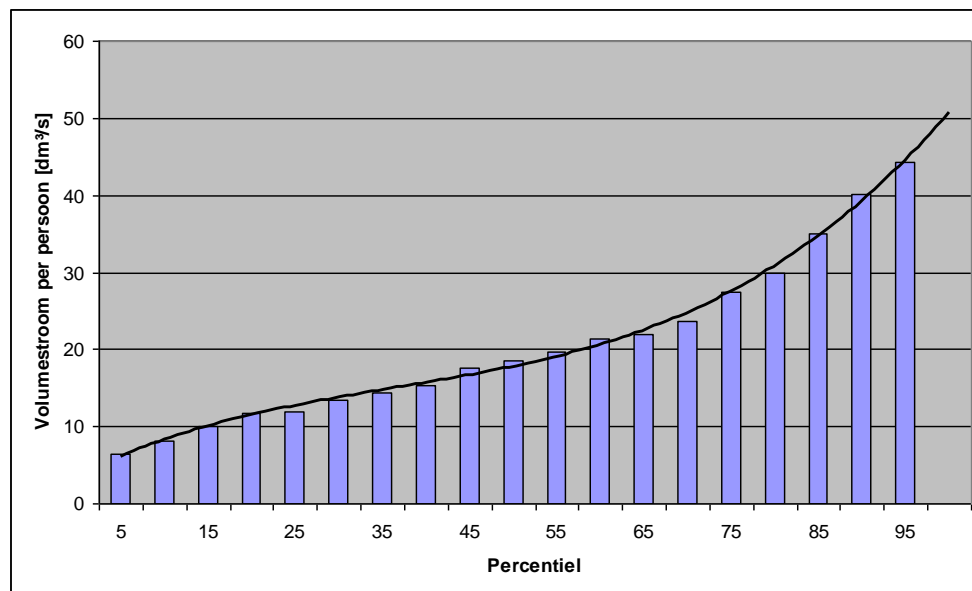
Circa 12% van de huishoudens bracht gezondheidsklachten in relatie tot de woning. Gevraagd naar de relatie met ventilatie dacht 9% van deze 12% dat er geen verband was met ventilatie. Circa 3% verwachtte wel een verband met de ventilatie van de woning. Gevraagd naar de relatie met verwarming dacht 5% van de genoemde 12% dat er een relatie was tussen verwarming en hun gezondheidsklachten.

In 1996 ontstond in Nederland vrij veel ophef over klachten van bewoners in de nieuwbouwwijk Vathorst te Amersfoort [38]. Circa 36 bewoners hadden zich bij de GGD Eemland gemeld met gezondheidsklachten. Uiteindelijk zijn in Vathorst in een selectie van 99 woningen metingen verricht waarin in totaal 25 bewoners (25 van de 36 bewoners die zich gemeld hadden) gezondheidsproblemen hadden. Dit aantal van 25 op 100 woningen ligt dicht bij de 22% van Landelijke Monitoring [20]. Men vond bij het onderzoek in Vathorst vele tekortkomingen aan de ventilatiesystemen maar geen relatie met energiebesparende maatregelen en gezondheid. Niettemin bleken veel gezondheidsklachten van bewoners samen te vallen met een bepaald type ventilatiesysteem dat vele tekortkomingen vertoonde.

## 7 Ventilatie en de bepalende grootte voor de regeling

### 7.1 Noodzaak van vraagsturing

Waarom vraaggestuurde ventilatie? Het antwoord daarop kan zijn om gezondheidsredenen lijkt het gewenst de ventilatie af te stemmen op de benodigde vraag. Maar meer nog is het energiebesparingspotentieel dat hiermee voorhanden is aanleiding om vraaggestuurd te ventileren. In de studie Landelijke Monitoring [20] is van circa 90 woningen gedurende een heel stookseizoen de werkelijk optredende ventilatie van de woning bepaald. Met het aantal personen dat in de woning aanwezig was en de gemeten waarden van de ventilatie is de gemiddelde ventilatiestroom bepaald per persoon. Daarbij is ook de plaats van de persoon in de woning mede in beschouwing genomen. De gegevens zijn weergegeven in Figuur 12.



Figuur 12. De percentiel waarde van de stookseizoen gemiddelde volumestroom per persoon.

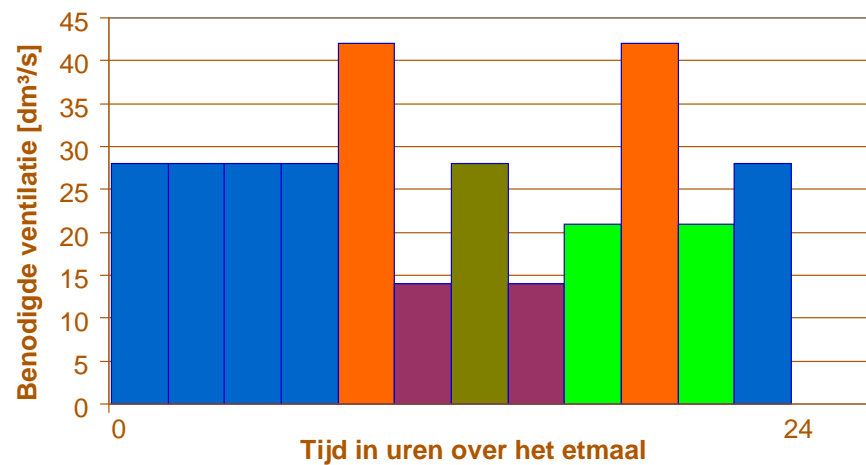
Uit Figuur 12 valt op te maken dat circa 5% van de bewoners gemiddeld te weinig ventilatie heeft gehad en dus naar alle waarschijnlijkheid zijn blootgesteld aan omstandigheden in het binnenmilieu die op basis van de huidige kennis als ongewenst moeten worden beschouwd. Daar komt nog bij dat deze gegevens gemiddelden zijn over de gehele woning. Zowel naar plaats en tijd kan de benodigde ventilatiestroom dus aanzienlijk minder zijn geweest. Tegelijkertijd bedraagt voor circa 90% van de personen de ventilatie gemiddeld meer dan 7 dm<sup>3</sup>/s hetgeen de minimum waarde is die aan de eisen van het Bouwbesluit ten grondslag ligt. Er is dus uit energieoverwegingen wel het een en ander te winnen door vraagsturing bij ventilatie.



Uit de studie landelijke monitoring [20] blijkt dat in de keuken en de slaapkamers respectievelijk 60% en 70% van de roosters vrijwel continue open staan. In de slaapkamers worden draairamen door 45% van de populatie langer dan 4 uur per dag geopend. Dit ventileren van de slaapkamer overdag leidt overigens niet tot een goede luchtkwaliteit 's nachts.

## 7.2 Regeling naar plaats en tijd

De vraag naar ventilatie verandert sterk over de dag. Een geschematiseerd voorbeeld wordt gegeven in Figuur 13.



Figuur 13. Schematisch verloop van de benodigde ventilatie over het etmaal.

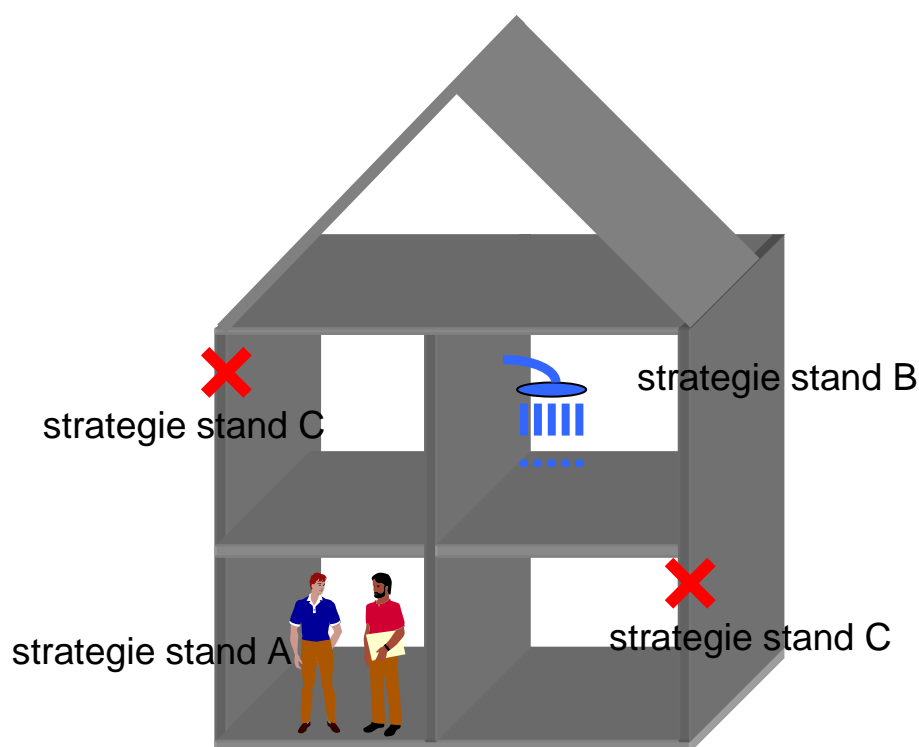
De ventilatievraag in Figuur 13 is gebaseerd op de activiteiten zoals vermeld in Tabel 4.

Tabel 4. Voorbeeld tijdschema aanwezigheid personen en activiteiten in woning.

Tijd	Aantal aanwezige personen	Activiteiten
22 – 8 uur	4	Slapen
8 – 10 uur	4	Douchen en ontbijten
10 – 12 uur	2	2 personen afwezig vanwege werk en school
12 – 14 uur	4	Lunchen, water koken
14 – 16 uur	2	2 personen afwezig vanwege werk en school
16 – 18 uur	3	Kind is thuis uit school
18 – 20 uur	4	Bereiden avondmaaltijd, eten en douchen
20 – 22 uur	3	1 persoon afwezig
22 – 8 uur	4	Slapen

Uit het voorbeeld van de aanwezigheid en activiteiten van personen in een woning blijkt dat de vraag naar ventilatie over de dag niet alleen in de tijd verandert maar ook naar plaats omdat tijdens het douchen maximaal in de badkamer zal worden geventileerd en tijdens het koken maximaal in de keuken.

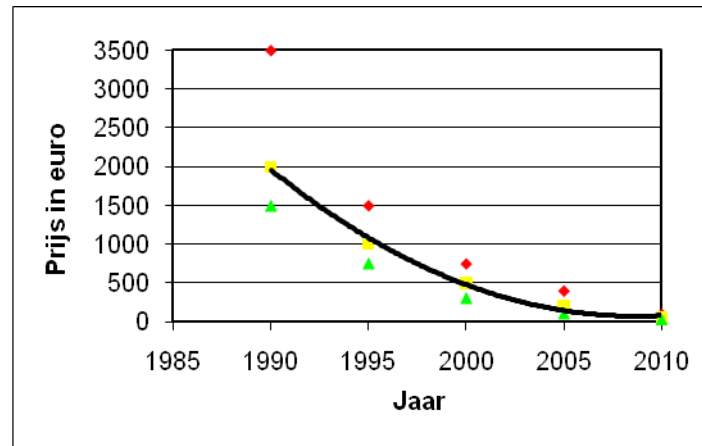
In Figuur 14 wordt schematisch weergegeven wat vraaggestuurde ventilatie naar plaats betekent. Daar waar mensen aanwezig zijn, kan worden geregeld op de vraag van personen (strategie stand A). Op plaatsen waar vocht wordt geproduceerd zal meestal de relatieve vochtigheid bepalend zijn voor de ventilatie (strategie stand B). Zijn er geen mensen aanwezig dan wordt de vraag niet nul, maar het minimum dat nodig is om de concentratie van eventuele emissies uit bouw- en inrichtingsmaterialen op een verantwoord niveau te houden (strategie stand C).



Figuur 14. Ventilatievraag naar plaats in de woning.

### 7.3 Regelgrootheden en gewenste ventilatiestromen

7.3.1 *Bio-effluenten met CO<sub>2</sub> als indicator voor de aanwezigheid van personen*  
 Bij aanwezigheid van mensen is CO<sub>2</sub> als indicator van door de mens geproduceerde verontreinigingen het meest geschikt. Het regelen van de ventilatie op basis van de CO<sub>2</sub>-concentratie zal leiden tot een aanvaardbaar geurniveau en vrijwel altijd tot een aanvaardbaar hygiënisch niveau. Op dit moment zijn CO<sub>2</sub>-sensoren van voldoende kwaliteit relatief goedkoop te verkrijgen. De prijs is zodanig gedaald en de kwaliteit toegenomen dat de toepassing van CO<sub>2</sub>-sensoren niet meer in de weg mag staan (zie Figuur 15). De huidige prijs van de sensoren bedraagt circa € 40,-. Er zijn in een woning net zoveel sensoren nodig als er verblijfruimten of kamers zijn. Voor de meeste woningen blijven de kosten voor sensoren dus onder de € 200,-. Dat zou voor toepassing van vraaggestuurde ventilatie, gezien de effecten die worden bereikt, geen belemmering meer moeten zijn.



Figuur 15. Prijsverloop van de aanschafkosten van CO<sub>2</sub>-sensoren over de tijd.

Een probleem bij het regelen op CO<sub>2</sub> is dat de luchtstroom die door de kieren de woning binnenkomt, met name bij lage bezetting een groter aandeel zal krijgen. Dat lijkt gunstig maar kan eventueel de gezondheid negatief beïnvloeden. Lucht die via de spouw de woning binnenkomt, kan in de spouw verontreinigingen opnemen. Een bekende hypothese is dat, omdat de luchtstroom door de spouw het ene moment naar buiten en op het andere moment naar binnen is gericht, de lucht mogelijk sporen van schimmels naar binnen kan meevoeren die in de spouw door condensatie kunnen ontstaan. Hoewel dit niet is bewezen, lijkt uit voorzichtigheid het openen van een rooster per ruimte in minimale stand gewenst, ook als de CO<sub>2</sub>-concentratie dat niet vereist.

### 7.3.2 Vocht

Het meten van de relatieve vochtigheid is relatief eenvoudig en goedkoop. Het lijkt dan ook logisch om vooral in de bad- of doucheruimte de ventilatie te regelen op basis van de gemeten luchtvochtigheid naar de maximale stand. In elk geval moet de minimaal vereiste ventilatie volgens het Bouwbesluit worden gehaald.

Men kan kiezen uit twee regelstrategieën:

- Bij aanwezigheid van personen die baden of douchen wordt door de aanwezige de ventilatie op de maximale stand geschakeld.
- Zodra de relatieve vochtigheid plotseling verandert en nadert naar circa 80 - 90 % wordt de ventilatie automatisch op de maximale stand geregeld.

Daarbij moet voor de bad- of doucheruimte tenminste 2 uur lang worden geventileerd na het stoppen van de vocht producerende activiteiten. Vrijwel hetzelfde als voor bad- en doucheruimten lijkt te gelden voor het ventileren van de keuken. In de situatie met een open keuken behoeft alleen de direct naar buiten af te voeren ventilatiestroom op het maximum te worden geregeld. Als maat hiervoor kan de relatieve vochtigheid van de afvoerlucht worden gebruikt. Voor de toiletruimte, die vrijwel altijd ook een natte ruimte wordt genoemd, is luchtvochtigheid over het algemeen geen goede regelgrootte. Bij toiletten gaat het om het voorkomen van verspreiding van lucht uit de toiletruimte (zie hoofdstuk 7.3.5).

In verband met het voorkomen van een grotere stijging van de absolute luchtvochtigheid dan 2 g/kg is een minimale gemiddelde ventilatiestroom in de woning over 24 uur noodzakelijk. De grootte van deze ventilatiestroom is afhankelijk van de waterdampproductie over 24 uur. Er bestaat een redelijk betrouwbare relatie tussen de waterdampproductie in een woning en de gezinsgrootte. Om de stijging van de absolute luchtvochtigheid niet te overschrijden is een ventilatiestroom per persoon nodig van circa 6 dm<sup>3</sup>/s. Voor een woning die bewoond wordt door 4 personen zal het gemiddelde over de gehele woning en over 24 h dus hoger moeten zijn dan 24 dm<sup>3</sup>/s.

Aangenomen mag worden dat bij een gesloten binnendeur de verspreiding van vocht uit de natte ruimten beperkt blijft. Overigens kan bij een juist gebruik de vochtigheid in de winter soms effectief worden verhoogd door het juist open laten van de deur van bad- of doucheruimte.

Er kan vooral in het najaar voor het beheersen van de vochtigheid een grotere ventilatiestroom nodig zijn dan die met het geïnstalleerde ventilatiesysteem kan worden bereikt. Bij buitentemperaturen boven de circa 15°C zijn daarvoor, vooral overdag, spuivoorzieningen te gebruiken. Een automatische regeling waarbij de bewoner niet hoeft in te grijpen, ligt gezien de huidige constructie van de spuivoorzieningen niet direct voor de hand.

Opgemerkt wordt dat door het toepassen van waterdichte wanden, vloer en plafond in de badkamer/douchecabine en een goede positionering van de lokale afzuiging, de ventilatiebehoefte voor de badkamer aanzienlijk kan worden verminderd.

### 7.3.3 *Formaldehyde en VOC's*

Voor de emissie uit bouw- en inrichtingsmaterialen en voor producten die vrijkomen bij persoonlijke verzorging (HCHO en VOC's) is de ideale situatie dat sensoren, die daarvoor specifiek geschikt zijn, de regeling zouden kunnen sturen. Deze sensoren zijn echter nog niet beschikbaar. Er zijn zogenaamde 'mix gas' sensoren beschikbaar die de concentratiebeperking van de stoffen zouden kunnen realiseren. Het is echter meestal niet duidelijk op welke gassen deze sensoren echt reageren [23] [39]. Er zijn aanwijzingen dat de laatste ontwikkelingen op het gebied van Metaal Oxide Sensoren (MOS) een belangrijke doorbraak in de nabije toekomst mogelijk maken. Vooralsnog kan het beste bij afwezigheid van personen en als er geen vraag is uit vochtoverwegingen, een minimum ventilatie van 0,15 dm<sup>3</sup>/s per m<sup>2</sup> vloeroppervlakte worden aangehouden.

### 7.3.4 *Temperatuur*

Voor het optreden van tocht kan zowel een te lage temperatuur als een te hoge luchtsnelheid bepalend zijn. De ventilatie beïnvloedt vrijwel alleen de luchtsnelheid. Hoewel de ventilatie ook de temperatuur beïnvloedt, kan in een vraagsturingsstrategie niet zo zijn dat de ventilatie wordt terug geregeld omdat het anders te koud wordt binnen. Ook een te hoge luchtsnelheid mag, als er warmtevraag is in een vertrek en er mensen verblijven, geen reden zijn de ventilatie terug te regelen teneinde de luchtsnelheid onder de 0,2 m/s te houden. Ventilatiesystemen moeten zo zijn ontworpen dat bij normale temperaturen in een vertrek van circa 20 °C, aan de luchtsnelheidseis van het Bouwbesluit wordt voldaan. Als er warmtevraag is in het vertrek waar mensen verblijven, dient de

ventilatie te worden geminimaliseerd op het niveau dat voor de aanwezige personen noodzakelijk is.

Als het binnen te warm wordt en er wordt niet gestookt, dan is het afvoeren van warmte via ventilatie een mogelijkheid. Bij langdurige perioden van hoge buitentemperaturen is het mogelijk via spuiventilatie, nachtventilatie of passieve koeling toe te passen. Dat kan slechts gebeuren als de buitentemperatuur aan het einde van de dag lager wordt dan de binnentemperatuur. Zoals eerder is betoogd ligt het bij de huidige constructie van spuivoorzieningen in woningen niet direct voor de hand het gebruik hiervan te automatiseren. Persoonlijk ingrijpen door de bewoner is dan noodzakelijk. Omdat de bewoner gedurende de periode waarin nachtventilatie wordt toegepast veelal slaapt, is het wel wenselijk om automatische aansturing van de spuiventilatie mogelijk te maken.

#### 7.3.5 *Verspreiding van lucht uit het toilet*

Om verspreiding van lucht uit het toilet bij gesloten deur te voorkomen moet de stromingsrichting van de lucht gericht zijn vanuit de aangrenzende gang of hal naar het toilet. Aanbevolen wordt om het minimale drukverschil over de overstroombopening in de deur niet lager te laten zijn dan circa 0,2 Pa. Bij een overstroombvoorziening die gelijk is aan de eis volgens het Bouwbesluit, komt dit neer op een minimale luchtstroom van circa 3 dm<sup>3</sup>/s. Opgemerkt wordt dat dit bij centrale afvoersystemen tegelijkertijd consequenties heeft voor de afzuigstroom uit keuken en bad- of doucheruimte. Bij een minimale stand van de mechanische afzuiging dient de totale afzuiging dan circa 18 dm<sup>3</sup>/s te bedragen.

Een effectieve methode om verspreiding van lucht uit de toiletruimte te voorkomen, is het toepassen van toiletpotafzuiging. Hierdoor wordt de ook geurhinder in de toiletruimte aanzienlijk verminderd.

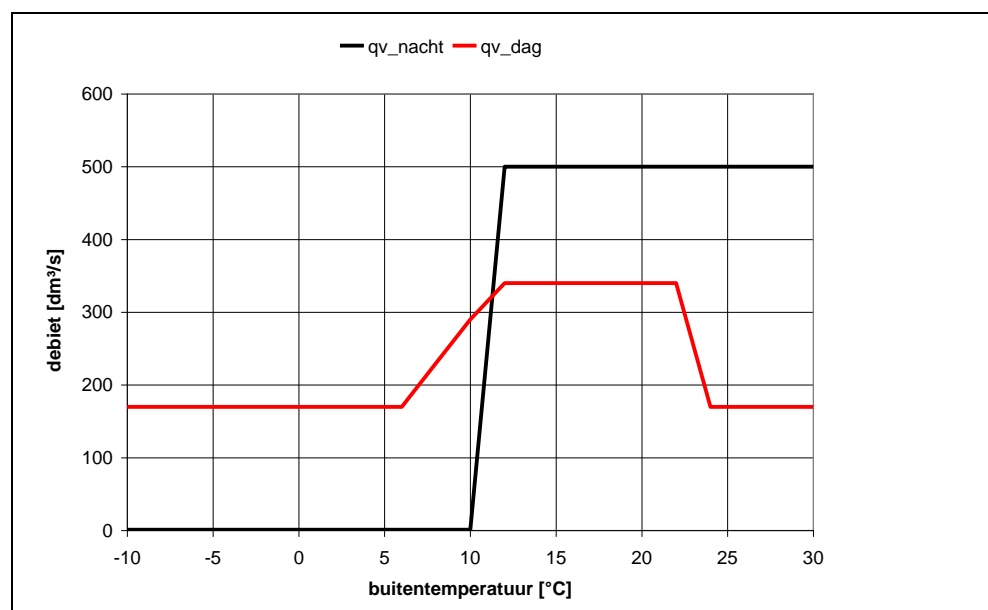
### 7.4 **Een voorbeeld van een toegepaste ventilatie strategie voor schoollokalen**

De toe te passen ventilatieregeling hangt af van de situatie. Dit kan worden geïllustreerd met de in de afgelopen jaren door TNO ontwikkelde ventilatiestrategie voor scholen [40]. De ventilatie wordt in deze strategie bij oplopende buitentemperatuur achtereenvolgens geregeld op energiegebruik, binnentemperatuur, installatiegeluid en buitentemperatuur. In Figuur 16 is een voorbeeld van een dergelijke regeling weergegeven. De figuur toont twee lijnen voor de benodigde ventilatiestroom gedurende de dag en de nacht in een voorbeeldsituatie. Bij aanwezigheid van de leerlingen overdag dient tenminste de minimaal benodigde luchtverversing, in het voorbeeld volgens de rode lijn 170 dm<sup>3</sup>/s (610 m<sup>3</sup>/h), plaats te vinden om de CO<sub>2</sub>-concentratie niet boven 1.200 ppm te laten stijgen. Dit is het geval bij lage buitentemperaturen (< 6 °C in het voorbeeld).

De onderzoeken naar leerprestaties en ziekerisico's hebben aangetoond dat een grotere luchtverversing dan de minimale vereiste wenselijk is. Als deze luchthoeveelheden al bij lage temperaturen worden ingeblazen, kost dat nog verwarmingsenergie. Daarom wordt in het voorbeeld de luchtstroom pas boven de stookgrens van 6 °C en dan nog geleidelijk opgevoerd. Boven de stookgrens is het vanuit thermisch oogpunt noodzakelijk om versterkt te ventileren. Anders warmt het lokaal teveel op door de warmte van de leerlingen en eventueel de zon (afhankelijk

van hoe goed zonwering plaatsvindt). Dit is in het voorbeeld tussen buitentemperaturen van 6 en 12 °C het geval.

Bij nog hogere buitentemperaturen zou de ventilatie verder moeten stijgen tot boven de nu getoonde begrenzing van 340 dm<sup>3</sup>/s (1.220 m<sup>3</sup>/h). Om geen geluidsoverlast door het ventilatiesysteem te laten ontstaan, wordt dit niet gedaan. Het is effectiever om door intensief nachtelijk spuien (zwarte lijn, debiet 500 dm<sup>3</sup>/s (1.800 m<sup>3</sup>/h)) de gebouwconstructie af te koelen, zodat overdag de temperaturen acceptabel blijven. Omdat het lokaal 's nachts onbezet is, is geluidsoverlast minder kritisch. Wanneer de buitentemperatuur verder oploopt, wordt deze hoger dan de binnentemperatuur. Om opwarming door ventilatielucht te voorkomen, wordt de luchthoeveelheid dan weer naar de minimaal benodigde luchtverversing gestuurd om 1.200 ppm te halen.



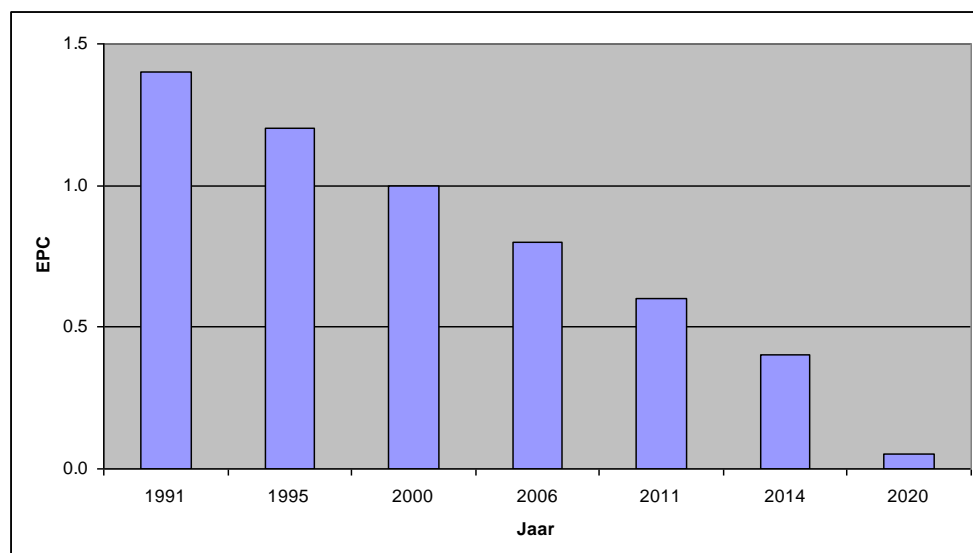
Figuur 16. Een voorbeeld van een regelstrategie voor ventilatie van scholen.

## 8 Ventilatie en energiegebruik

### 8.1 Noodzaak tot verwarmen en energiegebruik

Als er wordt geventileerd, kan bij een buitentemperatuur lager dan de gewenste binnentemperatuur verwarming van de ventilatielucht nodig zijn om het thermisch comfort binnen redelijke grenzen te houden. Dit verwarmen kost energie. De enige reden om de ventilatie kritisch op de minimale waarde te regelen is dus het beperken van de energievraag.

De overheid doet sinds 1992 moeite om via het stellen van een energieprestatie-eis voor gebouwen het gebruik van fossiele brandstoffen terug te dringen. Ook uit overwegingen van het buitenmilieu, namelijk de opwarming van de aarde, is het gewenst het gebruik van fossiele brandstoffen te beperken. In Figuur 17 is het verloop van de eisen uitgedrukt in de energieprestatiecoëfficiënt (EPC) uit het Bouwbesluit weergegeven. De streefwaarden van na 2010 zijn eveneens weergegeven.

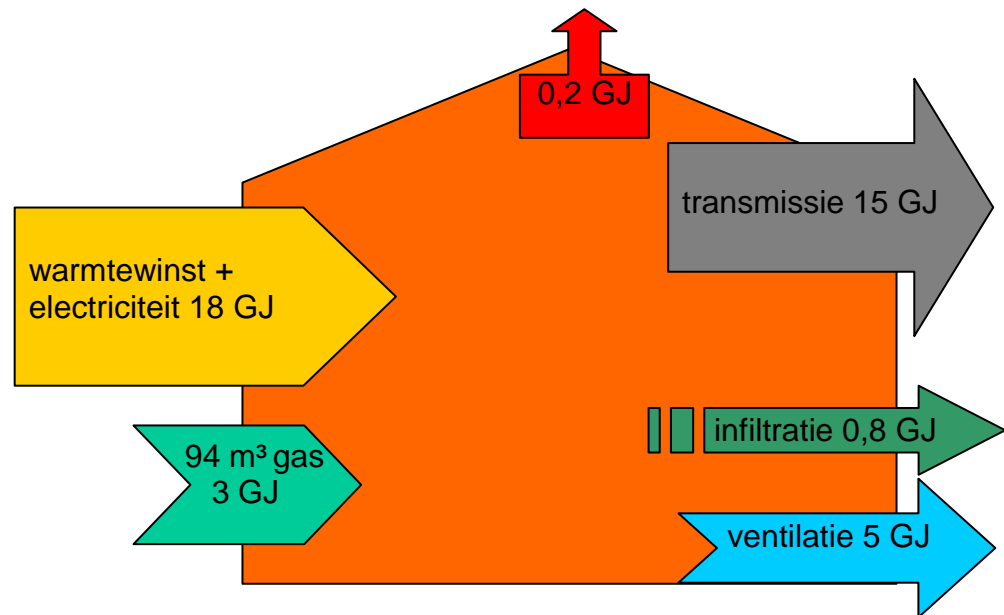


Figuur 17. Het verloop van de energieprestatie-eisen voor nieuwbouw woningen in de tijd.

In Figuur 17 is duidelijk zichtbaar dat als men in 2020 bereikt wil hebben dat nieuwbouw woningen energieneutraal zijn, dat wil zeggen netto geen fossiele brandstof meer onttrekken aan de wereldvoorraad, er nog een trendbreuk noodzakelijk is. Vraaggestuurd ventileren kan aan die trendbreuk een positieve bijdrage leveren.

De energiebalans van een woning zou er dan ongeveer uit kunnen zien als in figuur 18 is weergegeven. De ventilatie zal dan ondanks vraagsturing nog verantwoordelijk zijn voor circa 25 % van de totale energievraag.

Opgemerkt kan worden dat een stijging van de gemiddelde buitentemperatuur ook een bijdrage zal leveren aan het verminderen van het gebruik van fossiele brandstof. Wanneer de gemiddelde buitentemperatuur in Nederland gedurende het stookseizoen gesteld wordt op 5°C, zal bij een gewenste binnentemperatuur in de woning van gemiddeld 18 °C het temperatuurverschil 13 K bedragen. Als de buitentemperatuur met 1 °C zou stijgen, heeft dat op het energiegebruik een relatief effect van circa 6 %. In werkelijkheid zal hierdoor ook de duur van het stookseizoen korter worden, waardoor het energieverbruik verder afneemt.

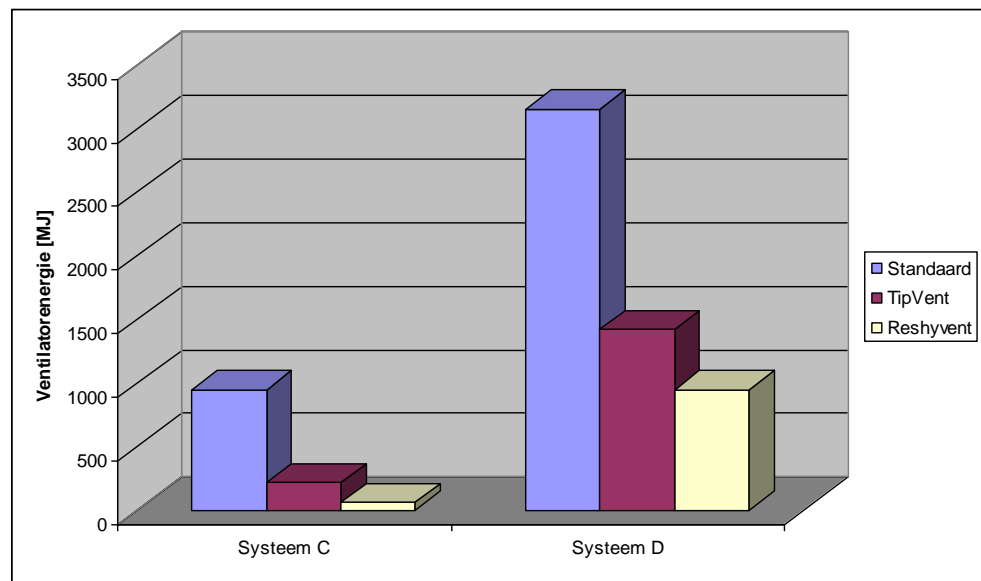


Figuur 18. Een voorbeeld van de energiebalans van een nieuwbouwwoning van rond 2020.

## 8.2 Transportenergie voor ventilatie

Ventilatiesystemen gebruiken energie om lucht te transporteren. Bij mechanische ventilatie is daarvoor de ventilator verantwoordelijk. Bij natuurlijke ventilatie wordt die energie geleverd door wind en thermiek. Wind kan worden beschouwd als een duurzame energiebron. De mechanische ventilatoren draaien normaal het gehele jaar door, dat is dus ongeveer 8760 uur per jaar. Om een indruk te geven hoeveel energie nodig is voor het transporteren van ventilatielucht bij een systeem met uitsluitend mechanische afvoer (systeem C) en een systeem met mechanische afvoer en toevoer (systeem D), wordt in figuur 19 een drietal situaties vergeleken. De gegevens zijn ontleend aan de resultaten van de projecten ReshyVent en TipVent [23][41]. Hieruit blijkt dat bij een goede selectie van ventilatoren en een beperkte drukval in de luchtkanalen, een aanzienlijke vermindering van het energiegebruik door de ventilatoren mogelijk is ten opzichte van de standaardsituatie.





Figuur 19. Het energiegebruik voor transport van lucht door ventilatoren bij systeem C en D.

Opgemerkt dient te worden dat geavanceerde regelingen van ventilatie via sensoren en signaleringen ook energie gebruiken. Op basis van de huidige kennis kan dat gemakkelijk circa 60 MJ (bijna 2 Watt continu) op jaarbasis kunnen zijn.

## 9 Conclusies

De belangrijkste conclusies die op basis van dit onderzoek kunnen worden getrokken zijn:

- De belangrijkste agentia die het binnenmilieu bepalen en ventilatie gerelateerd zijn, betreffen:
  - emissies van bouw- en inrichtingsmaterialen (formaldehyde, VOC's en radon)
  - stikstofdioxide (NO<sub>2</sub>) en koolmonoxide (CO) van verbrandingstoestellen
  - inadembaar stof
  - vocht en micro-organismen
  - bio-effluenten met kooldioxide (CO<sub>2</sub>) als marker
  - verontreinigingen afkomstig van buiten
- De strategie ter beperking van de blootstelling van mensen binnenshuis bestaat in eerste instantie uit het terugdringen van de niet noodzakelijke bronnen.
  - Verbrandingsproducten NO<sub>2</sub> en CO worden in woningen vrijwel zeker behoorlijk beperkt door toepassing van gesloten gastoestellen en elektrische vormen van koken.
  - De overheid voert een productbeleid waarbij wordt uitgegaan van een minimale ventilatie die in Nederlandse woningen vrijwel niet wordt overschreden. Bij deze ventilatie mag het product geen negatieve effecten op de gezondheid veroorzaken.
- Omdat er nog geen geschikte en betaalbare sensoren zijn voor het sturen van de ventilatie op basis van te hoge concentraties aan VOC, is het vooralsnog noodzakelijk altijd een minimum ventilatie van 0,15 dm<sup>3</sup>/s per m<sup>2</sup> vloeroppervlakte aan te houden, ook als personen niet aanwezig zijn.
- Er zijn geen wetenschappelijke bewijzen dat het binnenmilieu in Nederlandse woningen geschaad wordt door de huidige ventilatie en hun systemen.
  - Een relatie met negatieve effecten op de gezondheid is niet aantoonbaar.
  - Wel zijn er aanwijzingen dat de ventilatie de prestatie van personen en de gezondheid van luchtweg gevoelige personen kan beïnvloeden.
- Op basis van deze studie lijken wijzigingen in het uitgangspunt dat in woningen met ongeveer 7 dm<sup>3</sup>/s per persoon moet worden geventileerd niet noodzakelijk.
- Voor de vochtafvoer is het in bepaalde perioden van het jaar wel noodzakelijk de spuiventilatie te gebruiken.
- Voor het realiseren van een goed thermisch comfort is een goed ontwerp en een goede regeling van de ventilatie- en de spuivoorzieningen noodzakelijk.
  - Goede zelfregelende gevelroosters kunnen tochtklachten voorkomen.
  - Voor een goede beheersing van de binnentemperatuur in de zomer is de aanwezigheid van inbraakvrije spuivoorzieningen noodzakelijk.

- Voor de belangrijkste verontreinigingen en voor het beheersen van vocht en temperatuur in de woning is een ventilatiestrategie opgesteld die bij vraagsturing zou kunnen worden gehanteerd. Deze ventilatie strategie handhaaft minimale eisen aan het binnenmilieu en minimaliseert het energiegebruik.
- Om het aandeel van ventilatie in het energiegebruik terug te dringen, zijn trendbreukachtige maatregelen of ontwikkelingen noodzakelijk. Dit zal gerealiseerd moeten worden door toepassing van onder andere vraaggestuurde ventilatie en een verhoogde ventilatie efficiëntie. Het energiegebruik door ventilatoren en regelsystemen dient eveneens te worden beperkt.
- Optimale vraagsturing van ventilatie levert een optimaliseringsprobleem op waarbij de volgende parameters moeten worden geoptimaliseerd:
  - luchtkwaliteit
  - binnentemperatuur
  - luchtbeweging
  - luchtvochtigheid
  - energiegebruik
  - kosten

## 10 Literatuur

- [1] Bouwbesluit 2003  
Inclusief wijzigingen uit Staatsblad 2009 400 in werking januari 2010  
Staatscourant  
's Gravenhage, 2003
- [2] Gids. W.F. de, Phaff, J.C.  
Adequaat ventilatiegedrag; een studie naar het ventilatiegedrag met  
betrekking tot minimum ventilatie  
MT TNO rapport R90/443  
Delft 1990
- [3] Senter NOVEM  
EOS LT programma  
Duurzame projectontwikkeling op het gebied van bouwen, renoveren en  
wonen anno 2015  
Sittard, September 2005
- [4] Rapport Formaldehyde eis Bouwbesluit  
Phaff, J.C., Gids, W.F. de  
MT TNO, Delft, 1991
- [5] SAWORA  
Straling in het leefmilieu  
PEO, Utrecht, 1986
- [6] Jong, P, de  
Exposure to natural radioactivity in the Netherlands. Impact of building  
materials  
Universiteit Groningen, juni 2010
- [7] Brunekreef, B en anderen  
Air Pollution from truck and log function in children living near motorways  
Epidemiology, 1997
- [8] Dusseldorp, A., Bruggen, M. van  
Gezondheidkundige advieswaarden binnenmilieu, een update  
RIVM rapport 609021043/2007
- [9] Dongen J.E.F. van, Steenbekkers, A.J.H.M.  
Gezondheidsproblemen en het binnenmilieu in woningen  
NIPG TNO  
Leiden, 1993
- [10] Zock, J.P en anderen  
Het verband tussen vloerbedekking op basis scholen en acute  
luchtwegklachten  
Sociale gezondheidszorg, 1999

- [11] Lebret, E.  
Air Pollution in Dutch homes  
Wageningen Agriculture University  
Report R-138  
Wageningen 1985
  
- [12] Wal, J.F van der  
Onderzoek naar de binnenlucht kwaliteit van gerenoveerde woningen te 's  
Hertogenbosch  
R88/253  
Delft, MT-TNO, 1988
  
- [13] Op 't Veld, P.J.M, Gids, W.F. de  
Indoor air quality in dwellings  
A comparison of the performance of different ventilation systems  
IEA annex 27 Evaluation of ventilation systems  
AIVC 1997, Griekenland
  
- [14] Dongen, J.E.F. van, Vos, H.  
Gezondheidsaspecten van woningen in Nederland  
TNO rapport D R 0188/A  
Delft, juni 2007
  
- [15] Handboek Vocht en ventilatie  
SBR/ISSO  
Rotterdam, maart 2000
  
- [16] Elkhuizen, P en anderen  
Measurements of airborne moisture transport in a single family dwelling in  
Leidschendam  
TNO, rapport B 90 -128  
Delft, 1990
  
- [17] Phaff, J.C.  
Douche experiment in een badruimte van een woning  
Memo MT-TNO,  
Delft, 1996
  
- [18] Knoll, B  
Vocht en energie  
Notitie B&G 0046/gsw  
TNO Bouw en Ondergrond  
Februari, 2006
  
- [19] NEN 1087 Ventilatie van gebouwen, Bepalingsmethode voor de nieuwbouw  
Nederlands Normalisatie Instituut  
Delft, 2003

- [20] Gids, W.F. de, Veld, P.J.M. op 't  
Onderzoek naar ventilatie in relatie tot gezondheidsaspecten en  
energiegebruik voor een representatieve steekproef van het Nederlandse  
woningbestand  
TNO Bouw, Rapport 2003 GGI R064  
Februari, 2004
- [21] Roijen, E.  
Natuurlijke luchttoevoer gecombineerd met lage temperatuur verwarming  
comfortaspecten  
Cauberg Huygen Raadgevend Ingenieurs  
Maastricht, 2008
- [22] Paassen, A.H.C. van, en anderen  
Control of Night Cooling with natural ventilation.  
Sensitivity Analysis of Control Strategies and Vent openings  
NATVENT EU Joule project  
BRE, 1999
- [23] Reshyvent  
European cluster project on demand controlled hybrid ventilation in residential  
buildings with specific emphasis of the integration of renewables  
Cauberg Huygen Raadgevend Ingenieurs  
Maastricht, 2003
- [24] Nederlands Normalisatie Instituut  
NPR 1090  
Praktijkrichtlijn voor de ventilatie van schoolgebouwen  
Delft, 2010
- [25] Gids, W.F. de en anderen  
Het effect van ventilatie op de cognitieve prestaties van leerlingen op een  
basisschool  
TNO rapport 2006 D 1078/B  
Delft, 2007
- [26] Shaughnessy, R.J. et al  
A preliminary study on the association between ventilation rates in classrooms  
and student performance  
Indoor Air, 2006
- [27] Wargocki, P. et al  
The effect of classroom temperature and outdoor supply rate on the  
performance of school work by children.  
Indoor Air: Proceedings of the 10th international conference on indoor air  
quality and climate, Beijing, China, p. 368 – 372, 2005.
- [28] Jacobs, P.  
Effect van ventilatie op leerprestaties en gezondheid  
Frisse Scholen  
Delft, juni 2007

- [29] Gezondheidsraad  
Binnenluchtkwaliteit in basisscholen en de waarde van kooldioxide als indicator voor de luchtkwaliteit  
Nr2010/06, Den Haag april 2010
- [30] Preamble to the constitution of the World Health Organization, 1946
- [31] Shendell et al., 2004
- [32] Milton D.K., Rudnick, S.N.  
Risks of indoorairborne infection transmission estimated from carbon dioxide concentration  
Indoor Air, 2003
- [33] Li, Y a.o.  
Role of ventilation in airborne transmission of infectious agents in the built environment.  
Indoor Air 17, 2007
- [34] Fisk W.J., Seppänen, O., Faulkner, D., Huang, J.  
Economizer system cost effectiveness: accounting for the influence of ventilation rate on sick leave.  
Proceedings of the 7th International Conference Healthy Buildings, Singapore, Volume 3, p. 361-367, 2003
- [35] Norback, D., Nordstrom, K.  
Sick building syndrome in relation to air change rate, CO<sub>2</sub>, roomtemperature and relative humidity in university computer classrooms  
Int. Arch Occupational Environmental Health  
Springer, 2008
- [36] Co-ordination Action on Indoor Air Quality and Health Effects  
Project no. SSPE-CT-2004-502671  
EU, 10 February 2009
- [37] Dongen J.E.F. van, Vos, H.  
Relatie EPC niveau met zelf-gerapporteerde gezondheidseffecten  
TNI INRO rapport 2003-46  
Delft, 2003
- [38] Duim, F en anderen  
Gezondheid en ventilatie in woningen in Vathorst  
GGD Eemland  
September, 2007
- [39] Månsson, L.G. Svennberg, S.A.  
Demand Controlled ventilation Source Book  
IEA ECBCS Annex 18  
Sweden, 1993

- [40] Jacobs P., Oeffelen E. van, Knoll, B.  
Diffuse ceiling ventilation, a new concept for healthy and productive classrooms.  
Proceedings Indoor Air 2008, Copenhagen
  
- [41] TipVent EU Joule project Towards improved performances of mechanical ventilation  
Brussel, 2001



## 11 Ondertekening

Delft, april 2012

Auteur

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized initial 'P' followed by several vertical strokes and a long horizontal stroke extending to the right.

Drs. P.M. van Hoorik  
Afdelingshoofd

A handwritten signature in blue ink, featuring a long, sweeping horizontal stroke with several smaller strokes above and below it, and a small 'P' at the beginning.

Ing P. de Jong