

# Ventilatie in de praktijk

Kwaliteit voor bewoners

Evert Hasselaar



# Ventilatie in de praktijk

## kwaliteit voor bewoners

**NOVEM PROJECTNUMMER 149208-0054**

Contactpersoon namens de opdrachtgever: L. Moonen

Onderzoeker:

E. Hasselaar

Onderzoeksinstituut OTB, TU Delft

Postbus 5030

2600 GA Delft

telefoon 015-2787871

telefax 015-2783450

email [hasselaar@otb.tudelft.nl](mailto:hasselaar@otb.tudelft.nl)

december 2002

---

# INHOUD

<b>1</b>	<b>INLEIDING.....</b>	<b>4</b>
1.1	OPZET VAN HET ONDERZOEK .....	4
1.2	ONDERZOEKSVRAGEN .....	4
1.3	AANPAK VAN HET ONDERZOEK.....	5
1.4	UITVOERING EN BEGELEIDING .....	5
<b>2</b>	<b>EISEN AAN VENTILATIE.....</b>	<b>6</b>
2.1	INLEIDING .....	6
2.2	HARDE EISEN .....	7
2.3	KWALITATIEVE EISEN .....	8
2.4	CONCLUSIE .....	9
<b>3</b>	<b>VENTILATIESYSTEMEN EN -PRODUCTEN.....</b>	<b>10</b>
3.1	INLEIDING .....	10
3.2	VENTILATIESYSTEMEN .....	10
3.3	OVERZICHT VENTILATIEPRODUCTEN .....	12
3.4	HISTORISCHE ONTWIKKELINGEN.....	13
3.5	CONCLUSIE .....	13
<b>4</b>	<b>KWALITEITSASPECTEN IN DE PRAKTIJK.....</b>	<b>14</b>
4.1	INLEIDING .....	14
4.2	SAMENVATTING KWALITEITSBEOORDELING .....	14
4.2.1	<i>Gebruik door bewoners.....</i>	<i>15</i>
4.2.2	<i>Comfort .....</i>	<i>16</i>
4.2.3	<i>Energiegebruik.....</i>	<i>17</i>
4.2.4	<i>Binnenmilieu .....</i>	<i>18</i>
4.2.5	<i>Aanleg en beheer.....</i>	<i>20</i>
4.2.6	<i>Ecologische milieubelasting.....</i>	<i>22</i>
4.2.7	<i>Betaalbaarheid.....</i>	<i>22</i>
4.3	CONCLUSIE .....	24
<b>5</b>	<b>HOE VENTILEREN BEWONERS? .....</b>	<b>25</b>
5.1	INLEIDING .....	25
5.2	LEEFSTIJLEN .....	26
5.2.1	<i>Het traditionele huishouden.....</i>	<i>26</i>
5.2.2	<i>Alleenstaanden en tweeverdieners .....</i>	<i>27</i>
5.2.3	<i>Cocooning.....</i>	<i>27</i>
5.3	CONCLUSIE .....	27
<b>6</b>	<b>VENTILATIE EN GEZOND WONEN .....</b>	<b>28</b>
6.1	INLEIDING .....	28
6.2	EMISSIES .....	28
6.3	CONCLUSIE .....	30
<b>7</b>	<b>ENERGIEGEBRUIK .....</b>	<b>31</b>
7.1	INLEIDING .....	31
7.2	VERGELIJKING VAN HET ENERGIEGEBRUIK VOOR DRIE VENTILATIESYSTEMEN.....	31
7.3	CONCLUSIE .....	32
<b>8</b>	<b>VERBETERMOGELIJKHEDEN.....</b>	<b>33</b>

8.1	INLEIDING .....	33
8.2	SAMENVATTING VERBETEREN BESTAANDE SYSTEMEN .....	33
8.3	PROGRAMMA VAN EISEN.....	35
8.4	CONCLUSIE .....	38
<b>9</b>	<b>CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN .....</b>	<b>39</b>
9.1	CONCLUSIES .....	39
9.2	AANBEVELINGEN .....	40

# 1 Inleiding

## 1.1 Opzet van het onderzoek

Ventilatie is belangrijk voor een gezond binnenmilieu. De kwaliteit van de ventilatie laat in veel woningen te wensen over. Technische problemen en slecht gebruik hebben invloed op de luchtkwaliteit en daarmee op de gezondheid van bewoners. Het is van belang om problemen te onderkennen en verbetermogelijkheden te ontwikkelen.

Doelstelling is het verzamelen van praktijkgegevens over ventilatiesystemen en deze te analyseren op energiegebruik, effectiviteit en gebruiksvriendelijkheid. Aanbevelingen worden ontwikkeld voor nieuwe producten, voor onderhoud, voor regelgeving en voorlichting.

De resultaten zijn bestemd voor productontwikkelaars en voor woningbeheerders.

### Aspecten van het onderzoek

De aspecten energiegebruik, effectiviteit en gebruiksvriendelijkheid zijn terug te vinden in een relatieschema waarin de bewoners aan de ene kant en de woning aan de andere kant. Tussen de kolommen worden relaties aangegeven. De nagestreefde kwaliteit is: gezondheid, goede luchtkwaliteit en goede milieukwaliteit. Zie schema 1.

bewoners		woningventilatie		de woning	
leefstijl	behoefte	eisen	ontwerp	woningkenmerken	
perceptie		ventilatiesysteem		materialen, water	
gedrag	gebruik	bruikbaarheid	uitvoering	emissies	
blootstelling	luchthoeveelheid	effectiviteit	beheer	energiegebruik	
gezondheid		luchtkwaliteit		milieukwaliteit	

Schema 1. Aspecten van het onderzoek

## 1.2 Onderzoeksvragen

De onderzoeksvragen zijn:

1. Wat zijn de eisen aan ventilatie, vanuit de woning en de bewoners?
2. Welke ventilatiesystemen en -producten zijn toegepast?
3. Wat zijn kenmerken in de praktijk?
4. Hoe ventileren bewoners en waardoor wordt ventilatiegedrag bepaald?

5. Hoe beïnvloedt ventilatie de gezondheid?
6. Hoe beïnvloeden techniek en gedrag het energiegebruik?
7. Hoe kunnen ventilatievoorzieningen verbeterd worden?

Deze vraagstellingen vormen de structuur van het rapport.

### 1.3 Aanpak van het onderzoek

Het onderzoek is kwalitatief van aard. Voor het onderzoek is gebruik gemaakt van bestaande literatuur, van productinformatie van bedrijven en van praktijkgegevens, welke ontleend zijn aan 1000 woningen. Iedere aanleiding kent specifieke selectiecriteria voor de steekproef, maar vanuit het criterium ventilatie is de samenstelling aselekt. De Toetslijst ventilatie van de Woonbond is mogelijk wel door een selecte groep ingevuld, omdat deelname vrijwillig was. De databestanden zijn in tabel 1 weergegeven.

Aanleiding	Woning aantal	methode	binnenmilieu parameters
klachten huurders	300	opname en interview	onderhoudsklachten, vochtproblemen, energiegebruik, bewoning
klachten huurders	50	opname, interview, metingen	NO <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , ventilatievolume, schimmels, vochtproblemen, geluidhinder, overlast, bewoning
gezondheidstoetsing	50	interview, opname, stofzuigen	ventilatievolume, vochtproblemen, huisstofmijt, huisdieren, bewoning, gezondheidsbeleving
huisstofmijtonderzoek	90	opname, interview, stofzuigen	ventilatievoorzieningen, vochtproblemen, bouwkundige kenmerken en bewoning
oplevercontrole	450	metingen	afzuighoeveelheid in de praktijk
herhalingsmetingen afzuiging	(50) zie 450	Meting, opname, interview, stofmonster	afzuighoeveelheid na 1-12 jaar; ventilatievoud, gebruik en schoonmaken van de voorzieningen
toetslijst ventilatie (Woonbond)	(980)	enquete over gebruik toetslijst ventilatie	bewonersoordeel over de ventilatie voor en na het gebruik van de toetslijst
EPA's	50	opname, interview	huisstofmijt, schimmels, legionella, overlast
balansventilatie	5	opname, interview meting	gebruik, beleving en stofconcentratie in luchttoevoerkanalen
gezondheidstoetsing	20	vragenlijst	Waardering gezondheidsindicatoren
Totaal per dec 2002	1015		

Tabel 1. Overzicht databestanden

### 1.4 Uitvoering en begeleiding

Het onderzoek is uitgevoerd door het Onderzoeksinstituut OTB, met een financiële bijdrage van Novem, in het kader van het programma Lange Termijn Onderzoek Gebouwde Omgeving. Begeleider vanuit Novem is L. Moonen. B. Beukers van de Stichting HR-Ventilatie en P. Op'tVeld van Cauberg-Huygen hebben waardevolle commentaren geleverd. Het onderzoek is uitgevoerd door E. Hasselaar en is mede gebaseerd op een productinventarisatie van M. Beerepoot. Commentaar op concepten heeft geleid tot nadruk op de positie van de gebruiker bij woningventilatie.

## 2 Eisen aan ventilatie

### 2.1 Inleiding

De vraagstelling is: Wat zijn de eisen aan ventilatie vanuit de woning en de bewoners?

In dit hoofdstuk worden de grijze vlakken in het onderzoeksschema behandeld. Zie schema 2. Voor de ventilatie gelden harde eisen door regelgeving en kwalitatieve eisen vanuit de praktijk. De harde eisen zijn normen en voorschriften waaraan een ventilatiesysteem moet voldoen. Praktijkrichtlijnen vertalen de regelgeving naar ontwerpaanbevelingen. Een schema met kwalitatieve beoordelingscriteria is ontwikkeld.

bewoners		woningventilatie		de woning	
leefstijl		eisen		woningkenmerken	
	behoefte		ontwerp		
perceptie		ventilatiesysteem		materialen, water	
	gebruik		uitvoering		
gedrag		bruikbaarheid		emissies	
	luchthoeveelheid		beheer		
blootstelling		effectiviteit		energiegebruik	
gezondheid		luchtkwaliteit		milieukwaliteit	

Schema 2. Onderzoeksaspecten van hoofdstuk 2.

#### Definities

Lucht verversen kan op verschillende manieren, namelijk door infiltratie, ventilatie, luchten en spuien. *Infiltratie* is de luchtverplaatsing via naden en kieren in de bouwschil. *Ventilatie* is een continue, minimaal noodzakelijk geachte luchtstroom die in stand gehouden wordt door ventilatievoorzieningen. *Luchten* is het gedurende beperkte tijd in standhouden van een luchtstroom door het openen van ramen en deuren. Indien daarbij grote luchtstromen worden ontwikkeld, bijvoorbeeld door het openen van tegenover elkaar staande ramen en deuren spreekt men van *spuien*. Luchten wordt vooral toegepast in situaties waarin ventilatie als ontoereikend wordt ervaren. Spuien is in de eerste plaats bedoeld voor het snel afvoeren van schadelijke stoffen bij calamiteiten en voor het afvoeren van overtollige warmte in de zomer. Het *ventilatievoud* is het aantal keren per uur dat de lucht in een ruimte wordt verversd. Infiltratie, ventilatie en spuien worden in het bouwbesluit behandeld. Luchten valt daarin onder spuien.



## 2.2 Harde eisen

Bouwvoorschriften worden in het Bouwbesluit (1992) in termen van prestaties gegeven. In de norm voor ventilatie van woningen (NEN 1087) is de prestatie de hoeveelheid luchttoevoer of –afvoer. De praktijkrichtlijn (NPR 1088) geeft de bepalingmethode voor de prestaties. In de toekomst is in Europees verband een algemene standaard voor luchthoeveelheden te verwachten. De concept norm prENV 1752 "Design criteria for the Indoor Environment" is nog in bewerking.

"Verse lucht" wordt gedefinieerd als toevoerlucht, die gezien op ruimteniveau ten minste uit 50% buitenlucht moet bestaan. De ventilatiecapaciteit is gerelateerd aan vloeroppervlakte. De eis is minimaal  $0,9 \text{ l/s.m}^2$ , met een minimum van 7 l/s voor een verblijfsruimte. Voor grote woningen is de relatie met oppervlakte versoepeld en telt ook het aantal bewoners als toetsingscriterium.

### Capaciteitseisen bij mechanische afzuiging

Tot 1992 was de ventilatieeis  $1 \text{ l/s.m}^2$  vertrekoppervlak, vastgelegd in de gemeentelijke bouwverordening. De bouwvergunning geeft het "rechtens verkregen niveau", waaraan de ventilatie nu moet voldoen. Het "Bouwbesluit voor bestaande woningen" geeft het minimum niveau en het rechtens verkregen niveau is meestal hoger. Bij renovatie gelden nieuwbouweisen, echter met een ontheffingsmogelijkheid tot aan het kwaliteitsniveau dat gold ten tijde van de oplevering van de oorspronkelijke bouw.

In de praktijk blijkt men bij ventilatorvervanging of bij inregelen in de keuken uit te gaan van 21 l/s, de huidige eis. Het rechtens verkregen debiet zou 28 of 42 l/s zijn.

### Oppervlakteeisen bij natuurlijke ventilatie

Tot 1992 golden bij natuurlijke afzuiging eisen ten aanzien van de diameter, de ruwheid en het verloop van ventilatiekanalen. Voor toevoervoorzieningen werden oppervlakteeisen gesteld. De capaciteit kan berekend worden met een veronderstelde lichtsnelheid van 1 m/s. Indien de weerstand hoger is, bijvoorbeeld door insectengaas in een rooster, dan wordt een reductiefactor toegepast, met andere woorden: de bruto doorlaat moet dan groter zijn.

### Handhaving van de capaciteit

Er is ten aanzien van ventilatieeisen geen handhavingsbeleid voor bestaande woningen. Gemeenten kunnen alleen ingrijpen op basis van klachtenmeldingen of acute gezondheidsrisico's. De Huurwet stelt de huurder verantwoordelijk voor het onderhoud van het ventilatiesysteem. Inmiddels wordt als richtlijn gehanteerd, dat het onderhoud van mechanische systemen, gezien de technische complexiteit, niet aan huurders kan worden overgelaten. De verhuurder moet hierin actie ondernemen, maar kan de kosten ervan via de servicekosten verhalen op de huurder. In de praktijk verwerken verhuurders de kosten van een onderhoudscontract ook wel in de meerjaren onderhoudsbegroting.

### Juridische mogelijkheden om kwaliteit af te dwingen

Het weigeren van de huurverhoging en het indienen van een bezwaarschrift vormt het belangrijkste juridische instrument van de huurder. Bij hardnekkige schimmelvorming in een badkamer met natuurlijke ventilatie zou een klachtenprocedure tot huurverlaging kunnen leiden en de verhuurder kunnen dwingen tot ombouw naar mechanische ventilatie, omdat hiermee feitelijk en juridisch aan de eisen van doelmatige ventilatie kan worden voldaan.

In de Huurprijzenwet Woonruimte is gesteld: "verhoging van de huurprijs van woonruimte, welke een zelfstandige woning vormt, is niet redelijk, indien de huurder zich beroept op (bepaalde) gebreken". De huurcommissie oordeelt over de redelijkheid van het bezwaarschrift en over de redelijkheid van het huurniveau, waarbij ook een huurverlaging kan worden opgelegd. In de Huurprijzenwet Woonruimte worden drie categorieën schade aan het woongenot of gebreken of tekortkomingen genoemd: zeer ernstige gebreken vallen in categorie A en minder

ernstige in B of C. De huurverlaging kan naar 25% van het maximaal aanvaardbare huurniveau als het gebrek in categorie A valt, naar 40% bij B en 55% bij C.

Ventilatiegebreken vallen in categorie A als er geen toevoer is van verse lucht en afvoer van binnenlucht van de toiletruimte, het vertrek waarin zich het kooktoestel bevindt, het hoofdwoonvertrek, het slaapvertrek of de badruimte. Er vallen geen ventilatiegebreken in categorie B, wel in C: bij vocht- of stankoverlast, eventueel in combinatie met schimmelvorming door onvoldoende ventilatiemogelijkheden. Bij gebreken zal de verhuurder zich verweren door te wijzen op slecht ventilatiegedrag. Bij het merendeel van de klachten constateren inspecteurs, dat er technische tekorten zijn. Het opleggen van een huurverlaging forceert vaak een doorbraak in een slepende klachtenprocedure, waardoor een verbeterproces op gang komt, vaak met een collectieve aanpak voor een geheel complex.

## 2.3 Kwalitatieve eisen

### Basiseisen

Een werkgroep van de Wereld Gezondheidsorganisatie heeft een document gepresenteerd met betrekking tot het recht op gezonde binnenlucht (Mølhave, 2002). De bepalingen in het document hebben geen rechtswaarde, maar nationale overheden zullen worden uitgenodigd om het recht te bekrachtigen en hieraan consequenties te verbinden. De 9 bepalingen zijn:

1. Mensenrechten: ieder heeft recht op het ademen van schone lucht.
2. Zelfbeschikking: ieder heeft recht op informatie over mogelijke blootstelling en recht op voorzieningen om blootstelling binnen te controleren.
3. Schade aan anderen: in de binnenlucht mag geen mogelijk schadelijke agens vrijgelaten worden.
4. Betrokkenheid: ieder individu, groep of organisatie is verantwoordelijk voor een bijdrage aan luchtkwaliteit.
5. Rechtvaardigheid: sociaal-economische status mag geen invloed hebben op de beschikbaarheid van gezonde lucht, maar gezondheidsstatus kan wel bepaalde behoefte tot uitdrukking brengen.
6. Verantwoordelijkheid: alle relevante organisaties moeten criteria opstellen voor luchtkwaliteit, voor de gezondheidsaspecten ervan en invloed op het milieu.
7. Voorzorg: bij gezondheidsrisico mag onzekerheid geen reden zijn om geen maatregelen te treffen.
8. De vervuiler betaalt: de vervuiler kan aangesproken worden op schade en op het verwijderen van de vervuiling.
9. Duurzaamheid: milieubewustzijn en gezondheid zijn onafscheidelijk; gezonde binnenlucht mag niet ten koste gaan van ecologische integriteit of van de leefomgeving van toekomstige generaties.

### Kwaliteitseisen

Kwaliteitseisen zijn ontleend aan een casestudie in Rotterdam en Amsterdam en gesprekken met praktijkexperts. Voor mechanische ventilatie geeft ISSO 61 kwaliteitsrichtlijnen, voor balansventilatie is dat ISSO 62. Tabel 2 geeft een overzicht van alle kwaliteitsaspecten.

gebruik door bewoners	Inzicht in werking en capaciteit
	Fysiek gemak bediening
	Voldoende regelstanden
	Keuzevrijheid ventileren of luchten
	Eenvoudig te onderhouden
comfort	Inbraakveilig
	Bruikbaar voor koeling in zomer
	Weinig tocht in winterperiode
	Geen vervuiling door systeem
	Esthetisch aantrekkelijk

energiegebruik	Laag hulpenergiegebruik
	Efficiënte opwarming verse lucht
binnenmilieu	Effectieve bronafzuiging
	Piekventilatie mogelijk
	Goede kwaliteit verse lucht
	Goede circulatie in de ruimte
	Geen geluidhinder van systeem
	Geen overspraak
	Draagt bij aan allergeenarme woning
aanleg en beheer	Voldoet aan formele eisen
	Eenvoudig te integreren
	Betrouwbaarheid van montage
	Eenvoudig in stand te houden
ecologische milieukwaliteit	Lage milieulast bij productie
	Lage milieulast instandhouding
	Demontabel, herbruikbaar
betaalbaarheid	Laag investeringsniveau (jaarbasis)
	Lage planmatig onderhoudskosten
	Laag storingsrisico

Tabel 2. Kwaliteitsaspecten ventilatiesystemen

Goed gebruik door bewoners stelt eisen aan de technische voorzieningen: begrijpelijk en fysiek eenvoudig te bedienen. De comfortaspecten zijn vooral tocht, koeling en esthetische kwaliteit. Het thema energie omvat hulpenergie en energie voor opwarming van de verse lucht. Het binnenmilieu wordt gekenmerkt door luchtkwaliteit, maar ook hinder van het ventilatiesysteem. Aanleg- en beheeraspecten en ook kosten zijn bij verbetering een wezenlijk kwaliteitsaspect. Aan de kwaliteitseisen is duurzaamheid toegevoegd: gering beslag op eindige voorraden en lage milieubelasting tijdens de levensduur. Sommige kwaliteitseisen zijn tegenstrijdig: denk bijvoorbeeld aan het conflict tussen goed gebruik en energiezuinigheid of goede bereikbaarheid en tocht. In hoofdstuk 3 wordt de tabel gebruikt om de kwaliteit van ventilatie in bestaande woningen toe te lichten.

## 2.4 Conclusie

Voor bestaande woningen geldt het "rechtens verkregen niveau" van capaciteiten en voorzieningen, dat meestal hoger is dan de eisen uit het bouwbesluit voor bestaande woningen. De harde eisen vormen samen met kwalitatieve eisen het beoordelingskader van ventilatie in de praktijk.

## 3 Ventilatiesystemen en -producten

### 3.1 Inleiding

De vraagstelling is:

Welke ventilatiesystemen en -producten zijn toegepast?

Het grijze veld in schema 3 staat centraal. De verscheidenheid van voorzieningen en producten in de woningvoorraad is groot. Een schets van historische ontwikkelingen in de bouwpraktijk en in de regelgeving wordt gegeven.

<b>bewoners</b>		<b>woningventilatie</b>		<b>de woning</b>
leefstijl		eisen		woningkenmerken
	behoefte		ontwerp	
perceptie		<b>ventilatiesysteem</b>		materialen, water
	gebruik		uitvoering	
gedrag		bruikbaarheid		emissies
	luchthoeveelheid		beheer	
blootstelling		effectiviteit		energiegebruik
<b>Gezondheid</b>		<b>luchtkwaliteit</b>		<b>milieukwaliteit</b>

Schema 3. Onderzoekaspecten van hoofdstuk 3.

### 3.2 Ventilatiesystemen

De ventilatie bestaat uit drie schakels: toevoervoorzieningen, overstroomvoorzieningen en afvoervoorzieningen. In NEN 1087 worden vier systemen onderscheiden, naar toe- en afvoer.

Aanduiding NEN	Ventilatiesysteem	Toevoer	Afvoer
<b>A</b>	Natuurlijk	Natuurlijk	Natuurlijk
<b>B</b>	Combinatie natuurlijk-mechanisch	Mechanisch	Natuurlijk
<b>C</b>	Combinatie natuurlijk-mechanisch	Natuurlijk	Mechanisch
<b>D</b>	Gebalanceerd	Mechanisch	Mechanisch

Tabel 3. Ventilatiesystemen volgens NEN 1087

Omdat B praktisch niet voorkomt, onderscheiden we natuurlijke ventilatie (A), mechanische ventilatie (C) en gebalanceerde ventilatie (D) of kortweg balansventilatie. In de huidige

nieuwbouw gaat het alleen om systeem C en D, die in het spraakgebruik soms met natuurlijk en gebalanceerd worden aangeduid. Hier hanteren we de indeling van NEN 1087.

### Aantallen per ventilatiesysteem

Van de 6.6 miljoen woningen wordt bijna de helft natuurlijk geventileerd. Ongeveer 400.000 meergezinswoningen hebben collectieve geshunte ventilatiekanalen, waarvan 200.000 woningen in portieketagewoningen en lage flatgebouwen (periode 1955-1985) en 200.000 in hoogbouw vanaf 6 lagen (periode 1960-1975). Ongeveer 3,6 miljoen woningen hebben mechanische afzuiging met natuurlijke toevoer. Het aandeel collectieve mechanische afzuiging wordt geraamd op een half miljoen meergezinswoningen. Van 1980 tot eind 2002 zijn 85.000 woningen voorzien van gebalanceerde ventilatie, waarvan 30.000 met HR ventilatie, dat sinds de EPc-verlaging van 1998 sterk in opkomst is. Het aantal afzuigsystemen met warmtepompboilers is in de orde van 15.000. Natuurlijke ventilatie komt nauwelijks meer voor in de nieuwbouw (minder dan 4%). Tabel 4 geeft een raming van aantallen woningen met natuurlijke (A), mechanische (C) en balansventilatie (D), verdeeld naar bouwjaarklasse en naar eengezinswoningen en hoogbouw, naar huursector of koopsector.

periode	tot 1920	1920-1950	1951-1965	1966-1980	1981-2002	totaal
<b>sociale sector</b>						
<b>Eengezinswoningen</b>	60000 A 5000 C	100000 A 20000 C	120000 A 50000 C	280000 A 160000 C	120000 A 450000 C 25000 D	680000 A 685000 C 25000 D
<b>Meergezinswoningen</b>	20000 A 10000 C	35000 A 15000 C	80000 A 120000 C	180000 A 300000 C	50000 A 230000 C 8000 D	365000 A 675000 C 8000 D
Subtotaal sociale sector	80000 A 15000 C	135000 A 35000 C	200000 A 170000 C	460000 A 460000 C	170000 A 680000 C 33000 D	<b>1045000 A</b> <b>1360000 C</b> <b>33000 D</b>
<b>particuliere huursector</b>						
<b>Eengezinswoningen</b>	60000 A 10000 C	100000 A 25000 C				160000 A 35000 C
<b>Meergezinswoningen</b>	45000 A 15000 C	60000 A 25000 C				105000 A 40000 C
subtotaal part. huursector	105000 A 25000 C	160000 A 50000 C	80000 A 30000 C	70000 A 80000 C	40000 A 150000 C 15000 D	<b>455000 A</b> <b>335000 C</b> <b>15000 D</b>
<b>Koopwoningen</b>	330000 A 25000 C	400000 A 100000 C	200000 A 120000 C	400000 A 600000 C	220000 A 980000 C 37000 D	<b>1550000 A</b> <b>1825000 C</b> <b>37000 D</b>
<b>totaal woningvoorraad</b>	<b>515000 A</b> <b>65000 C</b> <b>0 D</b>	<b>695000 A</b> <b>185000 C</b> <b>0 D</b>	<b>480000 A</b> <b>320000 C</b> <b>0 D</b>	<b>930000 A</b> <b>1140000 C</b> <b>0 D</b>	<b>430000 A</b> <b>1810000 C</b> <b>85000 D</b>	<b>3050000 A</b> <b>3520000 C</b> <b>85000 D</b>
<b>alle woningen</b>						<b>6655000</b>

Tabel 4. Indeling bestaande woningvoorraad en ventilatiesystemen (ramingen)

### 3.3 Overzicht ventilatieproducten

De producten zijn in hoofdzaak:

- toevoervoorzieningen: klepjes, roosters, ramen en toevoerkanalen;
- overstroomvoorzieningen: spleten en roosters;
- afvoervoorzieningen: kanalen, roosters en ramen.

De tabellen illustreren de verscheidenheid.

<b>Bouwkundige afvoervoorzieningen</b>	
bouwkundige kanalen	Individueel Collectief via hoofdkanaal of nevenkanalen
aansluiting op kanalen	Rooster of onbelemmerde toevoer
dakuitmonding	Schoorsteen met vrije uitstroombopening Wind- en regenwerende kappen
<b>Installatietechnische afvoervoorzieningen</b>	
ventilatormotor	Wisselstroom of AC-DC (HR)
ventilatorwaaier	Kleine of grote schoepen Axiaal of radiaal
boxen	Plaatmateriaal, integraalschuim of spuitgietstukken
regeling	Niet regelbaar of op 2 of 3 standen Op druk, aanwezigheid of RV gestuurd
kanalen	Rond of rechthoekig ingestort
flexibele kanalen	Kunststof slang of metalen ribbelbuis
appendages	Hand- of motorische regelkleppen Ventielen vast, regelbaar of automatisch instellend Inspectie- of reinigingsluiken
verbindingen	Parkers en tape of rubberen ringen
dakdoorvoer	Metaal of kunststof Geïsoleerd en/of met kierdichting
dakkappen	Weren van regen, terugslag, condens
geluidwering	Isolerende kanaalstukken Rubber blokken Dempers in ventielen
wasemkap	Schouw, regelbare wasemkap, HR wasemkap
afzuigkap	Met wisselklep op kanaal of direct naar buiten

Tabel 5. Overzicht afvoervoorzieningen

<b>Toevoervoorzieningen</b>	
ramen	Klep-, draai-, stolp-, taats-, kantel-, draaikiepramen Horizontaal/verticaal schuivend
kanalen	In schacht of verlaagd plafond Ingestort in betonnen vloer
ventielen	Inducerend of vrijblazend Voor plafond- of wandtoepassing
<b>Overstroomvoorzieningen</b>	
deuren	Kier onder of boven en onder Rooster in de deur

Tabel 6. Toevoer en overstroomvoorzieningen

Totaalsystemen sturen gelijktijdig de toe- en afvoer. Voorbeelden zijn balansventilatie, luchtverwarming en vraaggestuurde ventilatie. Bij vraaggestuurde ventilatie is de luchtdoorlaat van elektronisch gestuurde roosters per vertrek gekoppeld aan de stand van de mechanische afvoer. De bewoner kan de ventilatiehoeveelheid programmeren, waarbij de regelunit zorgt voor de juiste toevoer, ongeacht winddruk en windrichting.

<b>totaalsystemen</b>	
toe en afvoer gekoppeld	Gebalanceerde ventilatie vraaggestuurde ventilatie
luchtverwarming	Met inlaat van verse lucht

Tabel 7. Overzicht totaalsystemen

### 3.4 Historische ontwikkelingen

Binnen iedere bouwperiode komt een grote verscheidenheid aan oplossingen voor. De veranderingen hangen samen met sociale en technologische veranderingen, die in de regelgeving werden verankerd. Het historisch overzicht in tabel 8 schetst een beeld van de veranderingen sinds het begin van de Woningwet.

<b>Periode</b>	<b>Afvoeren</b>	<b>gevelopeningen</b>	<b>Commentaar</b>
1901	Schoorsteen in de woonkamer en de keuken. Schouw in de keuken.	Schuiframen, stulp- en draairamen. Muurroosters.	Ongewilde ventilatie via wissellijst en kieren in de schil.
1927	Schoorsteen in woonkamer en keuken, eisen ventilatie wc.	Kleine draai- en klepramen.	Kozijnen inmiddels vervangen.
Jaren 1930	Introductie badruimte, zonder afvoerkanaal. WC aan de gevel.	Opkomst stalen kozijnen en ramen, veel licht en lucht	Kozijnen inmiddels vervangen.
1959	Schoorsteen in woonkamer, rookgasafvoer keuken ventilatiekanaal. WC aan de gevel.	Voldoende klepramen en draairamen.	Kozijnen vernieuwd. Badkamer zelfstandige ruimte, soms verbinding met keuken.
1965	Gasnet: gashaarden en CV, schoorsteen woonkamer vervalt. Mechanische afzuiging hoogbouw.	Industriële klapgevels, kleine klepjes, niet inbraakveilig. Geringe kierdichting.	Gevels in veel gevallen vervangen.
1975	Introductie metalen afvoerkanalen en mechanische afzuiging in eengezinswoningen.	Kleine klepjes, roosters met geringe doorlaat en slecht bedienbaar, inbraakrisico.	Deze bouwjaarklasse is nu aan de beurt voor onderhoud en aanpakken vochtproblemen.
1981	Ingestorte kanalen.	Verbetering roosters, betere bedienbaarheid.	Introductie draaikiepramen. Betere bouwkundige kwaliteit.
1985	Doorbraak mechanische afzuiging door gesloten cv ketel.	Uitbreiding roosterassortiment.	Kleine doorlaat en weerstand door insectengaas.
1988	Eisen aan gasdichtheid van ventilatiekanalen.	Einde van bouwkundige ventilatiekanalen.	Alleen nog mechanische afzuiging.
1992	Kierdichting beter, daarom alleen mechanische afzuiging.	Geen klepramen meer, betere en grotere roosters.	Innovaties toevoer
1996-2003	Minder capaciteit in grote woningen met weinig bewoners	Voldoende roosteroppervlak.	nadruk op energiebesparing, opkomst HR ventilatie.
Toe-komst	Toename balansventilatie. Invloed van MMG. Introductie hybride ventilatie.	Grotere roosters voor nachtventilatie.	Ventilatie afstemmen op eisen allergeenarme woningen.

Tabel 8. Historische schets van ventilatievoorzieningen

### 3.5 Conclusie

Ongeregelde ventilatie is in de loop der jaren ingedamd. De huidige voorzieningen gaan uit van een bewust gebruik van voorzieningen in kierdichte woningen. De ontwikkeling gaat naar automatische sturing van de ventilatie. De controle door bewoners wordt eenvoudiger, maar soms worden de mogelijkheden daartoe minder. De regelgeving heeft een belangrijk stempel gedrukt op de ventilatievoorzieningen. De capaciteitseisen zijn in de loop van de vorige eeuw verlaagd, aanvankelijk omdat vervuiliingsbronnen verdwenen (olielamp en kolenkachel) en vervolgens om energie te besparen. Recente aanpassingen komen voort uit inbraakveiligheid en comforteisen. In de toekomst zullen milieueisen nieuwe veranderingen geven. De woningvoorraad kent door de snelle ontwikkelingen een grote kwaliteitsachterstand in met name de bediening, de inbraakveiligheid, het comfort en de energiekwaliteit.

## 4 Kwaliteitsaspecten in de praktijk

### 4.1 Inleiding

De vraagstelling is: Wat zijn kenmerken in de praktijk?

Het is vanwege de verscheidenheid en de voortdurende vernieuwing van de markt ondoenlijk om alle producten te beschrijven. Daarom worden opvallende kenmerken van de woningvoorraad toegelicht, met veel aandacht voor de gebruiker. De kwaliteitseisen in tabel 2 van hoofdstuk 2 vormt de structuur. Dit hoofdstuk begint met een samenvatting (tabel 9).

<b>bewoners</b>		<b>woningventilatie</b>		<b>de woning</b>
leefstijl		eisen		woningkenmerken
	behoefte		ontwerp	
perceptie		ventilatiesysteem		materialen, water
	gebruik		uitvoering	
gedrag		bruikbaarheid		emissies
	luchthoeveelheid		beheer	
blootstelling		effectiviteit		energiegebruik
<b>gezondheid</b>		<b>luchtkwaliteit</b>		<b>milieukwaliteit</b>

Schema 4. Onderzoeksaspecten van hoofdstuk 4

### 4.2 Samenvatting kwaliteitsbeoordeling

De waardering wordt uitgedrukt in:

+ : over het algemeen voldoende,

0 : niet relevant of niet in te vullen;

- : problematisch, verbetermogelijkheden ontwikkelen.

+ - : het oordeel kan positief en negatief zijn, afhankelijk van het type voorziening



	Natuurlijke ventilatie		Mechanische ventilatie		Gebalanceerde ventilatie		Over- stroom
	toevoer	afvoer	toevoer	afvoer	toevoer	afvoer	
<b>gebruik door bewoners</b>							
Inzicht in werking en capaciteit	+	-	+	+/-	+	+	+
Fysiek gemak bediening	-	0	-	+	+	+	+
Voldoende regelstanden	+/-	-	+	+	+	+	-
Keuzevrijheid ventileren/luchten	+	-	+	-	-	-	+
Eenvoudig te onderhouden	+	-	+	-	-	-	+
Inbraakveilig	-	0	-	0	+	0	0
<b>comfort</b>							
Bruikbaar voor koeling in zomer	+	-	+	+/-	-	+/-	+
Weinig tocht in winterperiode	-	+/-	-	-	+	+	+
Geen vervuiling door systeem	+	+	+	+	-	+	+
Esthetisch aantrekkelijk	-	+	-	+	+	+	-
<b>energiegebruik</b>							
Laag hulpenergiegebruik	+	+	+	-	-	-	+
Efficiënte opwarming verse lucht	-	0	-	0	++	0	0
<b>binnenmilieu</b>							
Effectieve bronafzuiging	0	+/-	0	+	0	0	0
Piekventilatie mogelijk	+	-	+	-	-+	-	+
Goede kwaliteit verse lucht	+	0	+	0	-	0	+
Goede circulatie in de ruimte	+/-	+	+/-	+	+	+	+
Geen geluidhinder van systeem	+	+	+	-	-	-	+
Geen overspraak of geluid buiten	-	+	-	+	+	+	+
Bijdrage aan allergeenarm	+	-	+	+	+/-	+	+
<b>aanleg en beheer</b>							
Voldoet aan formele eisen	+	-	+	+	+/-	+	+/-
Eenvoudig te integreren	+	-	+	+	+	+	+
Betrouwbaarheid van montage	+	-	+	+	+/-	+	+/-
Eenvoudig in stand te houden	+	-	+	-	-	-	+
<b>Ecologische milieukwaliteit</b>							
Lage milieulast bij productie	+	+	+	-	-	-	+
Lage milieulast instandhouding	+	+	+	-	-	-	+
Demontabel, herbruikbaar	+	+	+	-	-	-	0
<b>betaalbaarheid</b>							
investeringsniveau (jaarbasis)	+	+	+	-	-	-	+
planmatig onderhoudskosten	+	+	+	+/-	+/-	+/-	+
storingsrisico en -kosten	+	+	+	+/-	+/-	+/-	+

Tabel 9. Kwaliteit van ventilatiesystemen

Bij de afvoer komen relatief veel minnen voor. Verder is er een verspreid beeld: de kwaliteit per systeem heeft een ander accent.

#### 4.2.1 Gebruik door bewoners

Inzicht in werking en capaciteit

Omdat lucht niet zichtbaar is, hebben bewoners weinig inzicht in de werking en de capaciteit. Daarom wordt bij signalen dat geventileerd moet worden het raam wijd open gegooid, om snel effect te bereiken. Bij mechanische ventilatie hebben bewoners de verwachting, dat de laagstand voldoende is en dat de hoogstand alleen bij pieken gebruikt moet worden. Veel geluid wekt onterecht de indruk, dat er veel wordt afgezogen. De invloed van voorlichting is gering en verandering van gedrag duurt jaren. De meest effectieve gedragsverandering komt van signalen

over de binnenluchtkwaliteit. Vroeger was dat het condens op de ramen, momenteel zijn dat geuren of zichtbare schimmelgroei.

#### Fysiek gemak bediening

De handmatige bediening van voorzieningen om te luchten bepaalt het gebruiksgemak. Voor ouderen, kleine mensen en kinderen is de bedienbaarheid van bouwkundige voorzieningen problematisch. Grote of hooggeplaatste taatsramen, die veel voorkomen in schuine dakvlakken, zijn moeilijk te bedienen. Schuifroosters gaan door vuil vastzitten en zijn bij hoge plaatsing lastig bereikbaar (touwtjes zijn kapot en nooit vervangen). Hoge klepramen zijn lastig bereikbaar. Voor het bedienen van stolpramen is kracht nodig en moet men lange armen hebben. De bedienbaarheid is de laatste jaren met sprongen verbeterd. Kleproosters kunnen nu met een stang bediend worden. De schakeling van elektrische installaties werkt eenvoudig. Recentelijk is afstandbediening van mechanische ventilatie geïntroduceerd, waarmee men vanuit de keuken en de badkamer schakelen kan, met een echte hotelschakeling.

#### Voldoende regelstanden

Om permanent te kunnen ventileren is de regelbaarheid en de inbraakveilige vergrendeling van kleine doorlaatopeningen belangrijk. Veel draaikiepramen, stolpramen en klepramen zijn niet op een kleine ventilatiestand te vergrendelen. Individuele mechanische afvoersystemen en gebalanceerde ventilatie zijn meestal in twee of drie standen te zetten. De hoogste stand blijkt bij praktijkmetingen niet de kookstand te zijn en haalt het minimum volgens de norm meestal niet. Bij voorlichting over de regelstanden wordt gesteld dat de middenstand de "normaalstand" is en de hoge stand de kookstand. Bij collectieve mechanische afzuiging neemt de toepassing van regelbare ventielen toe, steeds in combinatie met drukgestuurde ventilatoren.

#### Keuzevrijheid ventileren of luchten

De behoefte om bij geuroverlast of hoge vochtigheid gedurende een korte periode veel te luchten bestaat ook bij mechanische en gebalanceerde ventilatie. De waardering van een systeem hangt samen met de mate waarin men goed kan luchten in de keuken en in slaapkamers. Een badkamer met gevelopening wordt om deze reden meer gewaardeerd dan een inpandige badkamer. Bij natuurlijke toevoer heeft men keuzevrijheid tussen luchten en ventileren, bij balansventilatie veroorzaakt het gemis van deze voorzieningen soms klachten.

#### Eenvoudig te onderhouden

Alle typen kanalen, mechanische systemen en roosters hebben periodiek onderhoud nodig. Veel van het onderhoud kan niet door bewoners worden uitgevoerd. Bij het achterwege blijven van onderhoud neemt de capaciteit van voorzieningen dramatisch af: mechanische systemen in de orde van 10% per jaar, roosters met fijn gaas in stedelijke gebieden sneller. Het werkterrein van professionele onderhoudsbedrijven groeit en steeds meer verhuurders sluiten onderhoudscontracten af, maar van een echte doorbraak is geen sprake.

#### Inbraakveilig

Van de meeste oude gevelopeningen is de inbraakveiligheid slecht. Ramen en klepjes zijn niet vergrendelbaar op de kierstand. Uit een buurtinventarisatie in de wijk Spangen in Rotterdam blijkt, dat de toegepaste draaikiepramen op de begane grond, langs galerijen, bij balkons (ook op de verdieping) en langs regenpijpen niet als ventilatievoorziening worden gebruikt, wanneer in de betreffende kamer niemand aanwezig is. Er blijven dan weinig ramen over die open kunnen. Inbraakgevoeligheid veroorzaakt dan minder ventilatie (Schuitemaker, 1995).

## 4.2.2 Comfort

### Tocht

Tocht vormt een belangrijke bron van klachten (Woonbond, 1996). Tocht ontstaat door koudeval en doordat verse lucht in de winter onvoldoende wordt voorverwarmd. Omdat de binnentemperatuur van woningen trendmatig stijgt, wordt buitenlucht relatief kouder en neemt

het tocht risico toe. Kierdichting kan het tocht risico verhogen, omdat verse lucht meer geconcentreerd via toevoeropeningen wordt aangevoerd. Door toename van de isolatiekwaliteit neemt koudeval van ramen en gevels af. In de winter valt koude lucht op ongeveer 1 m afstand uit een gevelopening naar beneden, stroomt (kleeft) langs de vloer om in de buurt van een afzuigpunt opgetild te worden. Een hete radiator en ook zonneshijn op HR-glas veroorzaken een opgaande luchtstroom, die meteen met de koude luchtstroom mengt. Zonder zon of bij een lage radiator temperatuur geeft koude lucht al snel tocht (Hasselaar, 2002). Bij draaikiepramen of schuiframen komt lucht in de leefzone binnen en daarom worden deze raamttypen niet als bruikbare ventilatievoorziening aangemerkt.

Bij gebalanceerde ventilatie is de menging met hoog inducerende ventielen uitstekend, mits op de juiste locatie aangebracht, zodat het tocht risico gering is. Bij HR-balansventilatie kan men zelfs volstaan met zwak inducerende roosters.

Op behoefte gestuurde natuurlijke toevoer roosters verminderen het tocht risico door wind, maar geven een meer geconcentreerde luchtstroom door de compacte afmeting van de spleet. Praktijkervaringen ten aanzien van tochtgevoeligheid zijn nog niet beschikbaar (ITHO, 2002).

#### Bruikbaar voor koeling in zomer

Veel woningen overschrijden in de zomer de comforttemperatuur van maximaal 25 °C. Nachtventilatie kan voldoende koeling geven, mits het ventilatievoud hoog genoeg is: 2-3x per uur. Deze luchtstroom kan door geen enkel mechanisch systeem worden geproduceerd. Gevelopeningen van ongeveer 500 cm<sup>2</sup> per gevel per ruimte en overstroomvoorzieningen met grote capaciteit (binnendeur open) inclusief afvoer door een dakraam of een slaapkamerraam zijn daarvoor nodig. Deze grote openingen moeten inbraakveilig zijn. Oververhitting moet bij voorkeur worden verminderd met zonwering en bij balansventilatie met automatische inschakeling van een bypass met >90% rendement (ECN, 2002).

#### Vervuiling door het systeem

Rond toevoerventielen ontstaan vuilstrepen op het plafond of tegen de wand. Smalle spleten vertonen al snel vuilsporen. Gaas in roosters slijt dicht. Vervuiling is soms lastig te vermijden. Goede reinigbaarheid van de vuile zone kan klachten voorkomen.

Roosters, ventielen en kanalen vervuilen, waardoor de doorlaat vermindert en de verse lucht met verontreinigingen belast wordt. Zie verder onder het aspect onderhoud.

#### Esthetisch aantrekkelijk

Roosters boven ramen doen afbreuk aan de esthetische kwaliteit, maar worden niettemin vanwege de bruikbaarheid en het geboden comfort geaccepteerd. Kanalen in het zicht worden veel minder geaccepteerd (Olympus 2002).

### 4.2.3 Energiegebruik

#### Laag hulpenergiegebruik

Omdat een draaiende ventilator geld kost, wordt deze zo weinig mogelijk gebruikt. Als het ventilatiesysteem zich door geluidproductie duidelijk manifesteert, dan worden bewoners eraan herinnerd, dat er een elektrisch apparaat aan staat. Als alternatieve ventilatie via ramen en roosters goed werkt, dan gaat het systeem op de laagstand of uit: 20% heeft de stekker eruit getrokken. Slechts weinigen schakelen het systeem op de hoogstand tijdens afwezigheid.

In de laagstand verbruikt een HR-ventilator minder dan 100 kWh per jaar. Omdat dit weinig is, moeten er meer redenen zijn om een mechanisch systeem niet te gebruiken: geluidhinder en de ervaring dat een open raam meer frisse lucht oplevert. De elektrakosten van collectieve systemen zijn (veel) hoger dan bij individuele systemen, maar deze kosten hebben (uiteeraard) geen invloed op het gebruik.

Omdat een nieuwe ventilator minder geluid produceert, wordt een beter gebruik verwacht. Een zuinige HR-ventilator geeft naar verwachting geen tot een geringe verbetering van het gebruik ten opzichte van een traditionele ventilator. Er zijn geen aanwijzingen, dat HR balansventilatie beter wordt gebruikt: het gebruikspatroon hangt samen met geursignalen. De ervaring dat de

temperatuur in slaapkamers hoger is vanwege het inblazen van voorverwarmde lucht, speelt voor veel bewoners geen rol en voor enkelen een negatieve rol. Een hoge stand in de winter bij HR-balansventilatie vraagt iets meer energie dan de laagstand.

#### Efficiënte opwarming verse lucht

De verwarmingsbehoefte voor het opwarmen van verse lucht kan verminderen met een lage luchttemperatuur (dankzij stralingsverwarming en/of goede schilisolatie), met balansventilatie, met een serre of luchtspouw en met bodembuizen. HR ventilatie wordt op geen enkele manier geëvenaard in opwarmingsefficiëntie.

Om tocht te voorkomen, worden woningen vaak via de slaapkamers geventileerd. Een goede afzuiging verbetert de doorstroming, waardoor met een kierstand toch goed geventileerd wordt. Het slechte gebruik en de geringe capaciteit van de afvoer vereist een grotere raamopening, met als gevolg meer energieverlies en meer tocht. Vraaggestuurde ventilatie geeft een optimale relatie tussen afzuiging en toevoer en bovendien is deze verhouding per vertrek instelbaar.

#### Gering energiegebruik koeling

In de meeste woningen is de zomerwarmte goed weg te "spuien". De koelbehoefte zal verder toenemen en dat moet gecombineerd worden met aanvullende ventilatiemogelijkheden. Het alternatief is topkoeling met een warmtepomp of (tegen hoge energiekosten) airconditioning.

## 4.2.4 Binnenmilieu

### Effectieve bronafzuiging

Bewoners geven aan dat de tolerantie voor kookgeuren na de maaltijd ongeveer 3 uur is, maar bewust klachten geeft als de volgende morgen geuren nog waarneembaar zijn. Geurverspreiding wordt voorkomen met een afzuigkap aan en een deur/raam open. Drie kwartier (afhankelijk van type maaltijd) op de hoogstand ventileren is in veel gevallen voldoende, maar door de algemeen voorkomende capaciteitsproblemen in de praktijk ontstaan toch klachten.

De badkamerventilatie wordt bij het douchen door relatief weinig mensen hoog gezet.

De afzuiging in de laagstand is 4-6 l/s en dan blijven oppervlakken urenlang vochtig. Als de douchefrequentie hoog is of verspreid over de dag, dan ontstaan in in pandige badkamers vaak schimmelproblemen. In de doe-het-zelf sfeer worden te kleine badkamerventilatoren aangebracht, die maximaal 10 l/s afzuigen en een te korte nalooptijd kennen. Hiermee verslechtert de afzuiging, want in de uitstand wordt het kanaal gedeeltelijk geblokkeerd. Een "echte" badkamerventilator met meer vermogen en een RV-sensor komt weinig voor. Klachten over geringe afzuiging in het toilet komen weinig voor.

De geveltoevoer van 240 cm<sup>2</sup> in slaapkamers is te weinig om pieken in de CO<sub>2</sub> concentratie >1200 ppm te voorkomen, als daar 2 personen slapen en de gordijnen en de binnendeur gesloten zijn. Een CO<sub>2</sub>-piek van 2400 ppm tot zelfs 3400 ppm is gemeten bij gesloten ramen en binnendeur. Het gevolg van slechte badkamerventilatie is een uitbundige groei van de huisstofmijt en soms ook van schimmels. Hoewel tot 90% van de bewoners de ventilatieopeningen gesloten houden vanaf het vriespunt en globaal 40% bij een buitentemperaturen rond 13 °C, houdt een relatief groot deel van de bewoners de ramen ver open.

### Piekventilatie mogelijk

De behoefte aan piekafzuiging wordt groter, naarmate de afzuigcapaciteit geringer is. De wasemkap geeft een verbetering van de afzuiging tijdens koken (waarden in de praktijk 20-25 l/s). De wasemkap voldoet goed bij drukgestuurde collectieve mechanische afzuiging. Een afzuigkap levert een dubbele afzuighoeveelheid. De nominale capaciteit van afzuigkappen wordt vaak niet gehaald door teveel weerstand in dakkappen of gevelroosters. Een wasemkap op de afzuiging van balansventilatie geeft door vervuiling zoveel extra rendementsverlies van de wisselaar, dat de besparing vanwege het afzuigen van warmte boven het fornuis verloren gaat. Een aparte afzuigkap is aan te bevelen. Vanwege de behoefte aan piekafzuiging zou iedere

inpanidige keuken bij voorkeur moeten zijn voorzien van een afzuigkap met een eigen afvoer naar buiten.

#### Kwaliteit verse lucht

Ventilatielucht uit de gevel is vers, tenzij de gevelopening aan een verkeersader grenst of als men luchtjes van de burens binnen krijgt. De combinatie fijn stof langs een drukke weg en een suskast geeft vervuiling. Terugslag uit collectieve natuurlijke ventilatiekanalen en uit individuele kanalen met een ongunstige uitmonding op het dak veroorzaakt klachten in badkamers over tocht, maar niet over de luchtkwaliteit.

Bij balansventilatie kunnen klachten ontstaan bij aanzuiging via het dak en belasting door hitte (plat dak) of geuren (kortsluiting met een rioolontluchting of met afvoer van burens). De afstand tussen de inlaat en de afvoer op een schuin dak moet groot genoeg zijn: voldoen aan de verdunningsfactor zorgt dat niet meer dan 1% van afvoergassen of -lucht via een luchttoevoer worden aangezogen.

Vervuiling van luchttoevoerkanalen bij balansventilatie vormt een probleem. Door wisseling in de luchttemperatuur en vochtigheid groeien micro-organismen in het neergeslagen stof. De emissies ervan veroorzaken luchtwegklachten. Filters houden fijn stof niet tegen en de vochtige en vuile filters vormen zelf een bron van vervuiling. De vervuiling van kanalen is in de orde van 1 tot 3 g/m<sup>2</sup> per jaar en de overlast wordt soms al na drie jaar merkbaar, maar kan tot ernstige klachten leiden vanaf vijf jaar na de oplevering. Reinigen krijgt in de praktijk weinig aandacht. Schoonborstelen van ronde kanalen is effectief, maar rechthoekige instortkanalen blijven bij reiniging te vuil en zijn daarom als toevoerkanalen ongeschikt.

#### Circulatie

De menging en/of vervanging van vuile en schone lucht in een ruimte vormt een complex fenomeen. De kwaliteit van de circulatie hangt samen met de opstelling van meubilair, met temperatuurverschillen door verwarmingsbronnen en personen en met de richting en omvang van luchttoevoer en -afvoer. Over het algemeen zorgt toevoer uit de gevel voor een luchtstroom langs de vloer, die de aanwezige lucht langzaam verdringt (Ecobuild Research, 2002). De stereotiepe luchtcirkel in een vertrek, aangejaagd door de radiator voor het raam, komt niet voor bij een lage radiator temperatuur en helemaal niet als de verse luchtstroom koud is.

Geforceerde luchttoevoer bevordert de circulatie, maar de menging is afhankelijk van de locatie van het ventiel ten opzichte van wanden en plafonds:

- twee uitblaasventielen op korte afstand van elkaar werken elkaar tegen;
- een ventiel in de hoek veroorzaakt een kleine luchtcirkel, die de menging vermindert;
- kortsluiting tussen de toe- en de afvoer (open keuken) veroorzaakt elders een dode zone;
- een naar beneden blazend ventiel in het plafond veroorzaakt tocht.

Ook kan kortsluiting ontstaan bij laagstand van de unit en inblazen boven een deur. De overstroomvoorzieningen zijn bij alle ventilatiesystemen van essentieel belang, maar ze vormen veelal een zwakke schakel, vooral bij natuurlijke ventilatie. De spleten onder de deuren zijn te smal of worden belemmerd door een kleedje. Uit metingen is een relatie tussen schimmel in de badkamer en een kleedje voor de badkamerdeur gesignaleerd (Ginkel, 2002). De afvoer van haarden en open cv ketels concurreert met trek in ventilatiekanalen en kan terugstroming en daarmee tocht in badkamers veroorzaken.

#### Geluidhinder van het ventilatiesysteem

Geluid met betrekking tot ventilatiesystemen kan in drie groepen worden verdeeld:

- buitengeluid dat de woning binnendringt via de openingen;
- geluid, afkomstig van het ventilatiesysteem zelf (installatiegeluid);
- geluidtransport binnen of tussen woningen onderling via het ventilatiesysteem (overspraak).

Buitengeluid blijkt in de (wijde) omgeving van drukke verkeersaders het gebruik van gevelopeningen te belemmeren. Geluidhinder van mechanische systemen belemmert de bruikbaarheid, het comfort en daarmee het binnenmilieu in ernstige mate. In de hoogstand veroorzaken zowel het motorgeluid als het ventielgeluid (bij hoge drukval) overlast. In

slaapkamers komt de hinder overwegend door het motorgeluid. Om geluidhinder te beperken, gebruiken bewoners de laagste stand of de uitstand. Vooral 's nachts ervaart men overlast. Bewoners, die de stekker uit een mechanisch systeem hebben getrokken, voeren veelal geluidhinder en warmteverlies als argument aan.

Het geluidniveau is op de hoogstand naar het oordeel van veel bewoners te hoog, op de middenstand overdag acceptabel en op de laagstand zijn er bijna nooit klachten. Door vervuiling van ventielen neemt het geluidniveau toe en door slijtage van lagers en een hoger toerental bij vervuiling van de waaier neemt het motorgeluid toe. De geluidproductie van HR ventilatoren is iets hoger dan van wisselstroomventilatoren. Inmiddels worden de motoren opgehangen aan rubbers, waarmee deze hinder gecompenseerd is.

#### Overspraak

De overstroomvoorzieningen verminderen de geluidsisolatie tussen ruimten in dezelfde woning. Gemeenschappelijke afvoerkanalen vergroten de geluidhinder van burens, vooral bij een directe aansluiting op de hoofdkanalen. De steenachtige nevenkanalen op een moederkanaal (geschuinde kanalen) hebben een betere isolatiewaarde. In het algemeen veroorzaakt de individuele mechanische afvoer van toilet, keuken en badkamer geen overspraak. De luchttoevoerkanalen van een balansventilatie systeem geven meer risico, als de afstand tussen aftakkingen van slaapkamers kort is en weinig geluiddemping is toegepast. Het effect van ingestorte kanalen op de totale geluidsisolatiewaarde van een vloer is gering, maar de toepassing in loopzones kan beter vermeden worden.

#### Bijdrage aan allergeenarm wonen

Ventilatie moet bijdrage aan een lage luchtvochtigheid om schimmelgroei en te uitbundige groei van de huismijt te voorkomen. Uitdroging van slijmvliezen begint pas bij erg lage relatieve vochtigheid, vanaf 30%. Vervuiling van de lucht geeft een sensatie van droge lucht, ook als de RV hoog is, bijvoorbeeld boven 65%.

De populatie huisstofmijt kan in de winterperiode bestreden worden door uitdroging. Uitdrogen vergt dat nestelplaatsen zoals matrassen, kussens en vloerbedekking langdurig beneden  $RV=50\%$  blijven. In de luchtstroom van HR-balansventilatie kan de RV laag worden, wat gunstig is tegen de huismijt en tegen schimmels. Alleen bij directe blootstelling aan de droge luchtstroom zouden klachten over te droge lucht kunnen ontstaan, maar vervuiling van de lucht met fijn stof zal in de meeste gevallen de oorzaak zijn. Er lijkt weinig huisstofmijt aanwezig te zijn in onverwarmde slaapkamers, die ruim geventileerd worden en daardoor in de wintermaanden een lage temperatuur hebben, in de range van  $8-14^{\circ}\text{C}$ . In deze situatie is de lage temperatuur eerder een groeibeperkende factor dan de droge lucht. Dat geeft twee condities met weinig huismijt in slaapkamers: bij goede ventilatie en lage temperatuur respectievelijk goede verwarming en goede circulatie, zoals bij HR-balansventilatie.

### 4.2.5 Aanleg en beheer

Voldoet aan formele eisen

Voldoen aan de eisen van het Bouwbesluit of van de gemeentelijke bouwverordening, die van kracht was bij het verlenen van de bouwvergunning, is vanzelfsprekend. De praktijk laat echter een ander beeld zien:

- bij oplevering voldoet in de orde van 60%;
- de doorlaatvermindering van insectengas is niet of te weinig gecompenseerd;
- overstroomvoorzieningen hebben een geringe capaciteit;
- balansventilatie haalt de capaciteit niet, als bij temperaturen vanaf het vriespunt het toevoerdebiet wordt verlaagd, om bevroering te voorkomen.

Eenvoudig te integreren

De plattegrond werd vroeger afgestemd op het ventilatiesysteem: recht en verticaal verloop van kanalen voor natuurlijke afvoer. Bij mechanische systemen worden kanalen verslept naar een centraal punt en is een clustering van keuken, badkamer en wc favoriet.

Door de toepassing van instortkanalen is de locatie van afvoerpunten en inblaaspunten niet kritisch, behalve ten aanzien van het vermijden van kruisingen. De locatie beïnvloedt de drukverdeling, met als gevolg veel drukverlies naar het belangrijkste afzuigpunt, de keuken en bij balansventilatie onbalans vanwege relatief hoge drukverliezen in het toevoersysteem. De ventilatieunit komt meestal in de berging of op zolder: in een geluidarme ruimte en bereikbaar voor onderhoudswerk.

#### Weinig overlast bij ombouwen en onderhoud

Door verbeterde kierdichting voldoet natuurlijke ventilatie minder goed: de beheersbaarheid is gering. Bij collectieve geshunte kanalen is er tevens allerlei overlast van burens. Bij het vervangen van een standleiding of het aanbrengen van extra kanalen bij de overstap naar gesloten cv-ketels kiest men soms voor ombouw naar mechanische ventilatie. De keuze tussen individuele of collectieve mechanische ventilatie in gestapelde bouw hangt af van het vereiste kanalenverloop en ruimtebeslag in de woning. Collectieve systemen leveren extra ruimte, omdat dan een van de twee schachten kan vervallen. De afzuiging is in de praktijk hoger dan bij individuele systemen. Dat geeft een betere luchtkwaliteit, maar kost meer energie.

#### Betrouwbaarheid van montage

Het functioneren van systemen is erg afhankelijk van de uitvoeringskwaliteit. Ingedeukte instortkanalen en bouwvuil hinderen de doorstroming. Verbindingen lekken vaak, of de weerstand is hoog door flexibele buis of een kanaaldiameter van 125 mm in plaats van 150 mm. Vaak blijkt de driestanden schakelaar maar op twee standen te werken. De keuze van het type HR ventilator is kritisch en de indruk bestaat dat de recente toename van opleveringsproblemen (in een bepaalde gemeente voldeed recent 90% niet aan de eisen) mede hierdoor ontstaat. De praktijkproblemen ontstaan door de gehele bouwkolom:

- architecten besteden weinig aandacht aan de ventilatievoorzieningen;
- de uitvoering gebeurt door onderaannemers en montagebedrijven, die een zwakke positie hebben bij de aanbesteding en prijsvorming en daardoor moeten bezuinigen op kwaliteit;
- de toeleveringsmarkt concurreert scherp op prijs;
- er is geen onderhoudstraditie;
- gemeenten komen niet toe aan handhaving van de kwaliteit op de bouwplaats.

#### Eenvoudig in stand te houden

Lucht bevat stof en aan de rand van turbulentiegebieden slaat vuil neer op oppervlakken. De vervuiling is dermate snel, dat doorlaatopeningen en kanalen dicht gaan zitten, waardoor de capaciteit vermindert. Natuurlijke systemen werken bij lage drukverschillen en zijn daardoor in hoge mate gevoelig voor vervuiling: zelfs een spinnenweb kan de luchtstroming blokkeren. Bij mechanische ventilatie slaat stof neer op de waaier van de ventilator, zodat het profiel verandert en deze minder druk kan opbouwen. Ventielen vervuilen het snelst als de spleet klein is. In kanalen hoopt vuil zich op achter scherpe randen, bij schroeven en na bochten. Bij vervuiling van de balansventilatie unit vermindert het rendement van de warmtewisselaar, waardoor de lucht uit de toevoerventielen enkele graden kouder is en mogelijk tocht kan ontstaan.

De capaciteit van ventilatievoorzieningen moet op basis van periodiek onderhoud in stand worden gehouden. Bewoners kunnen zelf het onderhoud van ventielen en van modernere typen gevelroosters uitvoeren. Filters reinigen of vervangen blijkt in de praktijk lastig te zijn, maar deze werkzaamheden horen in principe bij de taken van de bewoner. Onderhoud aan kanalen en de ventilator, het vervangen van de lagers en ook het inregelen van de installatie kan alleen door professionele bedrijven worden uitgevoerd. Het onderhoud van gevelroosters moet ook door professionals gedaan worden, omdat oudere typen gevelroosters bij grondige reiniging open geschroefd moeten worden.

In de eigenwoningsector is de aandacht voor het instandhouden minimaal. Het geringe besef van de noodzaak van onderhoud, de kosten en de moeizame besluitvorming in verenigingen van eigenaren vormen een nog grote belemmering dan de technische complexiteit van het onderhoud.

## 4.2.6 Ecologische milieubelasting

### Lage milieulast bij productie

Er zijn geen gegevens over de milieuprofielen van ventilatiesystemen beschikbaar. Ten aanzien van de stromen materialen en water blijkt, dat elektrische apparaten en verduurzaamde metalen componenten zoals roosters en kanalen veel invloed hebben op het milieuprofiel. Het verschil in levensduur tussen 15 jaar (mechanische units) en 35 jaar (gevelvoorzieningen) beïnvloedt de milieulast sterk. Balansventilatie geeft een grotere belasting van de stromen materialen en water.

### Lage milieulast instandhouding

De milieulast in de gebruiksfase wordt bepaald door het aantal bezoeken vanwege storing of onderhoud en door het vervangen van componenten tijdens de levensduur. Hoe complexer en onderhoudsgevoeliger de installatie, des te groter de milieulast van instandhouding. De elektronische regeling verhoogt de storingsgevoeligheid in sterke mate.

### Demontabel, herbruikbaar

De terugname van ventilatoren en de verwerking en hergebruik van reststoffen verminderen het aspect uitputting van materialen, maar recycling vraagt veel energie en water. Gezondheid wordt niet als milieukwaliteit meegewogen, wel ecotoxiciteit. De rekenprogramma's Eco-Quantum en Greencalc kunnen nog niet voor optimalisatie van installaties gebruikt worden. Wel is een proefversie voor het bepalen van het materiaalgebonden milieuprofiel (MMG) beschikbaar. Hiermee is (tentatief) mechanische ventilatie en HR-balansventilatie vergeleken (Cauberg-huygen, 2002). Als het energiegebruik gedurende de levensduur wordt meegewogen, dat levert HR-balansventilatie een verbetering van 1 tot 2% van de milieulast van een referentiewoning, ten opzichte van mechanische ventilatie. De belangrijkste conclusie is, dat het energiegebruik tijdens de gebruiksfase de doorslag geeft. In het kader van het onderzoek Ventilatie in de Praktijk is een kwalitatieve vergelijking gemaakt, met als voorzichtige conclusie, dat het integrale milieuprofiel van ventilatiesystemen weinig verschilt, ondanks grote verschillen bij afzonderlijke vergelijking van de stromen energie, materialen, water en lucht. Ten aanzien van het energiegebruik is HR balansventilatie de topper, daarna volgt natuurlijke ventilatie en tenslotte mechanische ventilatie.

## 4.2.7 Betaalbaarheid

### Investeringsniveau (jaarbasis)

De ventilatievoorziening vormt een gering deel van de bouwsom, maar het streven naar lage initiële kosten van het bouwwerk bepaalt de keuze van een systeem. De regelgeving bepaalt de toename van kwaliteit, zoals de markt voor HR-balansventilatie niet uit comfort- of kostenoverwegingen, maar door de EPC verlaging is ontstaan. Vraaggestuurde ventilatie is als alternatief voor balansventilatie alleen kansrijk in de markt, als de investering zich gunstig verhoudt met de EPC-verlaging, vergeleken met balansventilatie. Voor verbetering van de ventilatie in de woningvoorraad is weinig geld over. Ketelvervanging, het vervangen van ramen en kozijnen en ventilatorvervanging bieden aanknopingspunten.

### Kosten planmatige onderhoud

Een all-in onderhoudscontract met een periodieke beurt van vier jaar kost globaal (incl. BTW)

- natuurlijke ventilatie € 10,- per jaar (kanalen en roosters);
- mechanisch afzuigsysteem € 25,- per jaar (per 4 jaar ventielen en waaier reinigen, inregelen, per 8 jaar ook kanaalreiniging, per 16 jaar vervanging ventilator);
- gebalanceerd ventilatiesysteem € 35 - 50 per jaar, (jaarlijks zonder kanaalreiniging).

### Storingsrisico en -kosten

De uitval van traditionele ventilatoren vormt een laag risico en is minder dan eenmaal gedurende de levensduur. De storingskans van een HR ventilator wordt geraamd op het



tweevoudige. Balansventilatie heeft vanwege twee HR ventilatoren, de extra regeling, de condensafvoer, maar (curieus genoeg) de hoge onderhoudsfrequentie een storingskans die geraamd wordt op gemiddeld 1 x per 4 jaar. Bij uitval zullen bewoners niet meteen een storing melden: eenderde of meer zal wachten tot het volgende onderhoudsbezoek.

### Samenvatting kenmerken in de praktijk

	Natuurlijke ventilatie	mechan. ventilatie	balansventilatie
<b>gebruik en gedrag</b>			
Inzicht in werking en capaciteit	Veel aangeleerd, maar gering inzicht in effect	Hoeveelheid lucht wordt overschat	Weinig kennis nodig, misverstand over regelstanden
Fysieke eisen aan bediening	hoge eisen en oplettendheid vereist	Eisen aan bewust gebruik gevelopeningen	Geringe eisen, verwarring over gebruik ramen
Voldoende regelstanden	matig regelbaar, afhankelijk van wind en temperatuurverschil	Goed regelbaar	Niet per ruimte regelbaar
Keuzevrijheid ventileren of luchten	Gering, afhankelijkheid van kanalen en gevelopeningen	Mechanische en natuurlijke ventilatie mogelijk	Weinig alternatieve ventilatiemogelijkheden
Vervuiling	Geringe vervuiling roosters in gevel	Vervuiling roosters en systeem	Vervuiling rond inblaasopeningen en in systeem
Eenvoudig te onderhouden	Goed	Matig, professionele hulp nodig	Matig, veel professionele hulp nodig
Inbraakveilig	Over het algemeen groot risico	Over het algemeen groot risico	Geen risico

<b>comfort</b>			
Bruikbaar voor koeling in de zomer	Gunstig voor nachtkoeling	Nachtkoeling mogelijk	Overlast oververhitting, met voorzorg goed
Weinig tocht in winter	Groot tocht risico	Extra groot tocht risico	Groot, bij HR ventilatie klein
Gunstige temperatuurgradiënt	Koude luchtstroom over vloer	Koude luchtstroom over vloer	Geringe gradiënt
Geen vervuiling door systeem	Gering	Gering	Luchtvervuiling door toevoer, vuil rond ventiel
Esthetisch aantrekkelijk	Goed	Goed	uitstekend
<b>energiegebruik</b>			
Laag hulpenergiegebruik	Geen	1,5-3 GJ	2-5 GJ
Efficiënte opwarming verse lucht	10-25 GJ	10-25 GJ	3-10 GJ

<b>binnenmilieu</b>			
Effectieve bronvermindering	Matig, veel dwarsventilatie	Effectieve bronvermindering	Door windonafhankelijke doorstroming
Piekventilatie mogelijk	Vergt afzuigkap in keuken en raam in badkamer	Enige piekafzuiging, afzuigkap wenselijk	Enige piekafzuiging, afzuigkap wenselijk
Goede kwaliteit verse lucht	Optimaal, uit gevel	Optimaal, uit gevel	Matig door vervuiling op dak of in systeem
Goede circulatie	Matig	Matig	Goed
Geen geluidhinder van systeem	Stil, wel buitengeluid	Hinder en buitengeluid	Hinder, maar weinig buitengeluid
Geluidoverdracht via systeem	Geen bij bouwkundige kanalen	Gering	Veel overdracht
Draagt bij aan allergeenarm wonen	Grote bijdrage, mits geen terugstroming	Indien normstand bruikbaar	Indien normstand bruikbaar, na effectieve kanaalreiniging

	<b>Natuurlijke ventilatie</b>	<b>mechanische ventilatie</b>	<b>balansventilatie</b>
<b>aanleg en beheer</b>			
Voldoet aan formele eisen	Niet of nauwelijks	Voldoet	Conflict bij koud weer
Eenvoudig in te passen	Veel ruimtebeslag en strenge ontwerpregels	Weinig ruimte of regels	Veel ruimtebeslag en strenge ontwerpregels
moeilijkheidsgraad montage	Redelijk eenvoudig	Redelijk eenvoudig	Gevoelig voor uitvoeringskwaliteit
moeilijkheidsgraad onderhoud	Gering, door professional 1 x per 10 jaar	Door professional 1 x per 3-4 jaar	Door professional 1 x per jaar, daarnaast per 3 maanden door bewoner

<b>Ecologische milieukwaliteit</b>			
Lage milieulast bij productie	Laag	Redelijk	Hoog
Lage milieulast instandhouding incl. energiegebruik	Redelijk laag	Redelijk hoog	Laag door energiebesparing
Demontabel, herbruikbaar	Kan demontabel	Elektrische apparatuur beperkt herbruikbaar	Veel afval einde levensduur

<b>Kosten per jaar</b>			
investeringsniveau	100	125	300
planmatig onderhoud	10	25	30-50
storingsrisico en -kosten	0	5	20-30

Tabel 10. Samenvatting kwaliteitskenmerken in de praktijk

### 4.3 Conclusie

De belangrijkste problemen van ventilatiesystemen zijn:

- Bewoners hebben geen feedback over het binnenmilieu;
- De bediening van diverse oudere raamsystemen stelt hoge fysieke eisen;
- Oude raamsystemen zijn op veel plaatsen onvoldoende bruikbaar door inbraakrisico;
- Veel ramen veroorzaken tocht of zijn slecht bruikbaar bij regen en wind;
- Piekventilatie is niet mogelijk in inpandige keukens en badkamers;
- Veel ventilatievoorzieningen voldoen niet aan de eisen, die van kracht waren toen deze woningen werden gebouwd;
- Het merendeel van de individuele mechanische afzuigsystemen is langer dan 8 jaar niet onderhouden;
- Ventilatoren en ventielen geven geluidsoverlast en zijn niet langdurig op de normstand te gebruiken;
- Het bewonersgedrag is niet adequaat;
- Goede ventilatie alleen kan woningen niet vrijhouden van schimmels en huisstofmijt.

## 5 Hoe ventileren bewoners?

### 5.1 Inleiding

De vraagstelling is: Hoe ventileren bewoners en waardoor wordt ventilatiegedrag bepaald?

De grijze velden in schema 5 worden behandeld. Ventilatiegedrag is het bewust beheersen van de ventilatie, zowel de aanvoer, de circulatie door de woning als de afvoer. Ventilatiegedrag heeft als oorsprong de leefstijl van de bewoners. Perceptie volgt uit opvoeding, ervaring en gezondheidsbeleving. De blootstelling en de aard van de vervuiling bepalen tenslotte het gezondheidsrisico.

bewoners		woningventilatie		de woning
leefstijl		eisen		woningkenmerken
	behoefte		ontwerp	
perceptie		ventilatiesysteem		materialen, water
	gebruik		uitvoering	
gedrag		bruikbaarheid		emissies
	luchthoeveelheid		beheer	
blootstelling		effectiviteit		energiegebruik
gezondheid		luchtkwaliteit		milieukwaliteit

Schema 5 . Onderzoeksaspecten van hoofdstuk 5

#### Landelijke monitoring

In 2001-2002 is door Cauberg-Huygen en TNO een landelijke monitoring uitgevoerd naar het gebruik en de binnenmilieu-effecten van de ventilatievoorzieningen. Aan de mondelinge presentatie van de resultaten (de Gids, 2002), welke zijn gebaseerd op een enquête onder bijna 1000 bewoners (niet de databestanden uit tabel 1 in hoofdstuk 1) en uitvoerige metingen in een steekproef van 86 woningen, zijn de volgende gegevens ontleend:

- Bijna 75% van de huishoudens ventileert wel eens minder dan gewenst zou zijn en de belangrijkste redenen hiervoor zijn: inbraakgevaar, te koud, tocht, lawaai, energie, stank;
- Ruwweg is circa 80% van de bewoners tevreden over hun ventilatie;
- Men is meer tevreden over de toevoer dan over de afvoer;
- De belangrijkste klachten zijn: tocht, stoffigheid, beslagen ruiten;
- circa 10% heeft een ventilatievoud van de woning lager dan 0.3 per uur (21 l/s);
- circa 33% heeft een ventilatievoud van de woning lager dan 0,5 per uur (35 l/s);
- de mechanische afvoer, indien aanwezig, geeft een gemiddelde afvoerstroom van 37.4 l/s (steekproef 41 woningen).

Het hoge gemiddelde mechanische afzuigdebiet is verrassend en deze bevinding spoort niet met onderzoek elders. Mogelijk komt dit doordat in de steekproef ruim de helft van de bewoners de ventilatiestand niet zelf kon kiezen.

## 5.2 Leefstijlen

Het bewonersgedrag wordt algemeen beschouwd als de belangrijkste factor voor de hoeveelheid ventilatielucht. Ventileren is afhankelijk van leefstijl, met als kenmerken de grootte, samenstelling en leeftijdsopbouw van het huishouden, de aanwezigheid thuis en het gebruik van de woning. De perceptie is de motor achter het handelend optreden en de bereidheid om op basis van informatie het gedrag te corrigeren: bijvoorbeeld stoppen met roken of na het douchen de natte wanden met een rubber strip drogen. Bewoners hebben verschillende behoeften: geuren mijden of juist toevoegen, warm of koud slapen, enkele malen per week of meerdere keren per dag douchen. De individuele behoefte bepaalt hoeveel frisse lucht men wenst. Vanuit deze overwegingen zijn in hoofdzaak drie leefstijlen te onderscheiden: het traditionele huishouden, alleenstaanden/tweeverdieners en zogenaamde cocooners, huishoudens met een op de privé-sfeer gerichte leefstijl. Daarbinnen vallen twee clusters van percepties, namelijk bewust van luchtkwaliteit en niet bewust van luchtkwaliteit, met daaraan gekoppeld een verschillend ventilatiegedrag. Dit leidt tot 6 gedragstypen. Zie tabel 12.

	Perceptie	Gedrag
leefstijl		
traditioneel	bewust van luchtkwaliteit	1. vanzelfsprekend goede ventilatie
	onwetend en onbewust	2. riskant ventilatiegedrag
tweeverdieners	bewust van luchtkwaliteit	3. weinig controle op binnenlucht
	onwetend en onbewust	4. geen controle op binnenlucht
cocooning	bewust van luchtkwaliteit	5. geringe ventilatie
	onwetend en onbewust	6. onvoldoende ventilatie

Tabel 11. Gedragstypen

### 5.2.1 Het traditionele huishouden

Bewoners in het traditionele huishouden zijn veel thuis, lopen actief in en uit en binnendeuren staan regelmatig open. Omdat men thuis is, kunnen ramen open en wordt er veel gestookt. Veel slaapkamers blijven onverwarmd en ze worden goed gelucht. Men merkt of iets muf ruikt en wanneer condens op de ramen verschijnt. Zolang bewoners actief zijn, heeft men weinig last van tocht. De natuurlijke ventilatie werkt onder deze condities optimaal. Dwarsventilatie vult de afvoer aan, ongeacht hoe een natuurlijk kanaal trekt en op welke stand de mechanische ventilatie staat. De tevredenheid met de ventilatie is evenredig met de mogelijkheid om in te grijpen. De grootte van het huishouden (de intensiteit van bewoning) heeft relatief weinig effect op het binnenmilieu: de ventilatiecapaciteit is ruim genoeg. Als er problemen zijn, dan komt dat door bouwkundige tekortkomingen: optrekkend vocht, koudebruggen of geringe capaciteit van de afvoer in de inpandige badkamer. Een bewoner, die goed kan ventileren, weet de gevolgen hiervan te verminderen en soms te voorkomen. Een niet-ventilatiebewuste bewoner droogt wasgoed op de overloop of in een slaapkamer en heeft een condensdroger in de badkamer, zonder aanvullend te verwarmen en te ventileren. De inpandige badkamer is dan een zwakke schakel. Als een bewoner in deze situaties niet goed ingrijpt, dan ontstaan er binnenmilieuproblemen. Ingrijpen in de badkamer kan door meer te verwarmen, door nat wasgoed buiten op te hangen, en ook door schimmels regelmatig te verwijderen en afwasbare verfsorten (of meer tegelwerk) toe te passen.

### **5.2.2 Alleenstaanden en tweeverdieners**

Tweeverdieners en alleenstaanden zijn overdag weg, 's avonds veel weg en 's nachts of in het weekend vaak thuis. Bij afwezigheid zijn de ventilatieopeningen dicht en staat de verwarming laag. Bij deze leefstijl is de ventilatiehoeveelheid afhankelijk van de ongestuurde ventilatie, dus van kieren in de gevel in tussenwanden en van de trek in afvoerkanalen. Door de geringe ventilatie blijft vocht van het douchen en van drogend wasgoed langdurig hangen. Het gevolg is groei van huismijt, van schimmels en toenemende concentratie van binnenluchtvervuiling. Het binnenmilieu is ongezond en in de avonduren door klamme meubels en koudestraling van de omhullende constructie weinig comfortabel. Het verschil tussen bewust zijn van luchtkwaliteit en onwetendheid is het al dan niet openhouden van de ventilatieroosters, het eventueel zelf aanbrengen van inbraakveilige ventilatiemogelijkheden, het openlaten van binnendeuren en het verkleinen van de temperatuurverlaging bij afwezigheid. Met afzuiging op een hogere stand (men heeft immers geen last van geluidhinder) zijn er meestal geen binnenmilieuproblemen. De isolatiekwaliteit van de schil en de bezonning bepalen hoe warm de woning gemiddeld zal zijn. Hoe beter geïsoleerd en bezond, des te minder vochtproblemen zullen er ontstaan. Echter, de kierdichtheid werkt tegengesteld: in oudere woningen met geringe kierdichtheid blijft bij afwezigheid het ventilatievoud hoog genoeg. Dan blijven natuurlijke kanalen goed afzuigen, vaak beter dan mechanische afzuiging op de laagstand.

### **5.2.3 Cocooning**

Cocooning komt voor bij minder mobiele mensen zoals ouderen en zieken, maar ook bij mensen die na een drukke dag achter de pc of voor de buis hun ontspanning zoeken. Bij cocooning blijven ramen dicht, de woning is lekker warm en soms voorzien van eigen geuren. Men wil geen geluiden van buiten en ook geen hinder van apparaten in huis en eventueel gaat de stekker uit het afzuigstelsel. Deze leefstijl komt voor bij bewoners uit warme landen, maar de trend neemt toe door gewenning aan een hoge temperatuur, die gemakkelijk te handhaven is in goed geïsoleerde woningen. Hoe warmer het is, hoe eerder men tocht ervaart en ook dit is een reden om alles dicht te houden. Met de cultuur uit warme landen komt ook een andere kookcultuur: niet vet, maar wel met langdurige koken of stomen, waarbij veel vocht wordt geproduceerd. Soms richt men de woning in met een aparte mannen- en vrouwenkamer, waarvoor dan de woonkamer en een grote slaapkamer worden gebruikt. De ouders slapen in de tweede grote slaapkamer en kinderen delen dan vaker met twee of drie personen een kleine slaapkamer. Als het kindertal groot is en ook nog familie inwoont, dan ontstaat overbewoning. Vocht afvoeren kost warmte en uit een warm binnenmilieu kan veel vocht afgevoerd worden, maar voorwaarde is voldoende ventilatie. Het evenwicht tussen warm of vochtig kan verstoord raken door bouwkundige gebreken. Ventilatiebewuste bewoners ventileren weinig, maar houden rekening met pieken en luchten dagelijks. Onbewust zijn van de ventilatiebehoefte kan bij cocooning tot ongezond wonen leiden.

## **5.3 Conclusie**

Het bewonersgedrag bepaalt het gebruik van de ventilatievoorzieningen. Een groot deel ventileert goed, heeft weinig klachten en woont in een gezond binnenmilieu. Bij slecht ventilatiegedrag worden de technische gebreken van de woning en het ventilatiesysteem snel zichtbaar. Een verhuurder moet met verschillende leefstijlen rekening houden. Goed onderhoud en het verhelpen van bouwkundige gebreken is veelal voldoende om veel keuzevrijheid in leefstijl mogelijk te bieden.

# 6 Ventilatie en gezond wonen

## 6.1 Inleiding

De vraagstelling is: Hoe beïnvloedt ventilatie de gezondheid?

De grijze velden in schema 6 geven de relatie tussen vervuiling en gezondheid, met beheer, bruikbaarheid en gedrag als parameters.

bewoners		woningventilatie		de woning
leefstijl		eisen		woningkenmerken
	behoefte		ontwerp	
perceptie		ventilatiesysteem		materialen, water
	gebruik		uitvoering	
gedrag		bruikbaarheid		emissies
	luchthoeveelheid		beheer	
blootstelling		effectiviteit		energiegebruik
gezondheid		luchtkwaliteit		milieukwaliteit

Schema 6. Onderzoeksaspecten van hoofdstuk 6

Ventilatie is het meest essentiële kwaliteitsaspect van het binnenmilieu.

Op basis van literatuur kan het volgende gesteld worden (Sundell 2002):

- Verontreinigde binnenlucht veroorzaakt een toename van gezondheidsklachten, met name van de neus, ogen, huid en de ademhalingsorganen;
- Verbetering van de luchtkwaliteit geeft een directe verbetering van welbevinden en prestatie of productiviteit;
- Een groot aantal stoffen veroorzaakt reacties van de ademhalingsorganen: deze stoffen komen voor als fijn en inhaleerbaar stof en als gasvormige bestanddelen. Relatief de meeste aandacht gaat uit naar schimmels, afvalstoffen van huisdieren, kakkerlakken en de huisstofmijt, sigarettenrook en emissies uit materialen, zoals formaldehyde en VOC's;
- Sommige schimmels in gebouwen kunnen gifstoffen afscheiden en deze vormen een bedreiging voor de gezondheid;
- Tabaksrook is één van de meest verbreide verontreinigingen van het binnenmilieu, zowel voor de rokers als voor niet-rokers.

## 6.2 Emissies

De belangrijkste agentia van het binnenmilieu zijn weergegeven in tabel 12.

<b>Gezondheidseffect bestaande woningbouw</b>		
<b>Hoofdaspect</b>	<b>Deelaspect (agens)</b>	<b>Effect op gezondheid</b>
		10 lastig tot 90 dodelijk
<b>Locatie</b>	<b>Bodemverontreiniging</b>	70
<b>Thermisch comfort</b>	<b>Temperatuur in zomer</b>	30
	<b>Tocht</b>	10
<b>Lucht kwaliteit</b>	<b>Emissies van buiten</b>	
	wegverkeer	90
	pollen	30
	radon uit kruipruimte	90
	benzeen	90
	stank	10
	<b>Emissies bouwmaterialen</b>	
	radon	90
	formaldehyde	70
	asbest	90
	VOS	70
	vezels en stof	50
	<b>Emissies van installaties/apparaten</b>	
	koolmonoxyde (CO)	90
	stikstofdioxide (NO <sub>2</sub> )	90
<b>Microbiologische verontreiniging</b>		
stank	10	
schimmel	70	
huisstofmijt	70	
<b>Licht en uitzicht</b>	<b>Daglicht</b>	10
	<b>Bezinning</b>	30
	<b>Uitzicht</b>	10
<b>Privacy</b>	<b>Visuele privacy</b>	10
	<b>Sociale privacy</b>	30
<b>Geluid</b>	<b>Burengeluid</b>	30
	<b>Verkeerslawaai</b>	30
	<b>Installatielawaai</b>	50
<b>Inrichting</b>	<b>Ruimtelijke kwaliteit</b>	10
<b>Gebruiksveiligheid</b>	<b>Legionella</b>	90
	<b>Lood</b>	70
	<b>Inbraakveiligheid</b>	30
	<b>Ongevalveiligheid</b>	50
<b>Straling</b>	<b>ELF-velden</b>	90

Tabel 12. Agentia en gezondheidseffect (EBM, 2002)

Uit verdunningscurves voor emissies in woningen blijkt, dat vanaf een ventilatievoud (vv) van 0,5 zelden problemen ontstaan. Onderzoek in het kader van de Stralingsprestatienorm geeft aan, dat in sterk radonbelaste woningen geen toename van de concentratie te verwachten is vanaf  $vv=0,7$ . Omdat tal van emissies toenemen bij een stijging van de temperatuur en de vochtigheid, moet in de zomer meer geventileerd worden. Om de effecten van roken op niet-rokers te verhelpen, moet tijdelijk  $vv=2-3$  gerealiseerd worden.

#### Ventilatie en huisstofmijt

Huismijt groeit in een omgeving met een RV boven 55% en een temperatuur boven 16 °C. Hoe meer de maximale afzuigcapaciteit daalt beneden het minimumniveau in het Bouwbesluit, hoe hoger de kans op veel huisstofmijtallergieën. De samenhang van groeifactoren en ventilatie is opgenomen in een huisstofmijtmodel, waarmee het risico van hoge concentraties allergenen is te voorspellen (Hasselaar, 2002)

<i>indicator</i>	<i>parameters</i>			
luchtvochtigheid	bronnen	pieken en hoe vaak	locatie	T verschillen
materiaalvochtigheid	bronnen	pieken en hoe vaak	locatie (kleed)	Temperatuur
temperatuur	<16, >19°C	niveau en spreiding	invloed RV	RV pieken
ventilatie	hoeveelheid	ventilatiegedrag	droge lucht	RV en T
stoffigheid	bronnen	reiniging	locatie	voedsel
leeftijd nestelplaatsen	<1 jaar	1-3 jaar	4-6 jaar	>6 jaar

Tabel 13 Indicatoren voor het voorkomen van huisstofmijtallergieën

#### Vochtafvoer

De vochtproductie van mensen, huisdieren, planten en vocht van woonactiviteiten zoals wassen en douchen is 5 tot 12 liter per dag. Daarnaast kan via kieren en spleten tot maximaal een liter vocht uit de kruipruimte komen en kan optrekkend vocht maximaal een halve liter per dag in de woning brengen. Meer dan 95 % van dit vocht moet via ventilatie worden afgevoerd. In de zomer is voor de vochtafvoer veel lucht nodig, in de winter weinig. De ventilatiehoeveelheden volgens het bouwbesluit zijn voldoende om in de winterperiode alle vocht af te voeren, in de natte herfst ontstaan in veel woningen tijdelijk vochtproblemen.

#### Geuren

In een kamer met vier personen en een ventilatievoud van 0,5 ontstaat al na enkele uren geuroverlast. Dwarsventilatie levert een belangrijke bijdrage aan de ventilatiehoeveelheid. Zonder dwarsventilatie ontstaan problemen bij natuurlijke afzuiging en mechanische afzuiging op de laagstand: de capaciteit is gemiddeld genomen slechts een kwart van de normhoeveelheid en de "piekstand" bereikt met moeite de helft ervan. Dit komt door capaciteitstekort. Bij ventilatie volgens de normhoeveelheid ontstaat deze geuroverlast niet.

#### Blootstelling

Gezondheidsrisico hangt samen met blootstelling aan schadelijke stoffen. Tabel 14 geeft een indruk van de verblijfsduur voor mannen, vrouwen en kinderen. Ouderen en kinderen worden vanwege de verblijfstijd langdurig aan eventuele vervuiling blootgesteld. Het scenario voor tweeverdieners komt overeen met het gebruikspatroon, dat basis is voor de Energie Prestatie Norm. De tijd die per etmaal ontbreekt wordt buiten de woning doorgebracht, maar meestal ook in een binnenmilieu: school, kantoor, de auto of trein.

		woonkamer	keuken	slaapkamer
Traditionele leefstijl	Man	6 uur	1 uur	8 uur
	Vrouw	8	3	8
	kind	8	1	12
Tweeverdieners		5	1	7
Cocooners	senior	14	1	9

Tabel 14. De verblijfsduur per vertrek

## 6.3 Conclusie

Het ventilatievoud moet tijdens perioden van bewoning minimaal 0,7 zijn. Vervuilende stoffen en vocht worden geabsorbeerd door bouwmaterialen en meubilair en moeten bij afwezigheid afgevoerd worden, zodat bij afwezigheid het ventilatievoud minimaal 0,3-0,5 zou moeten zijn.



# 7 Energiegebruik

## 7.1 Inleiding

De vraagstelling is: Hoe beïnvloeden techniek en gedrag het energiegebruik?

De grijze velden in schema 7 worden behandeld. Het energiegebruik is afhankelijk van het technische ontwerp enerzijds en het gebruik anderzijds.

bewoners		woningventilatie		de woning	
leefstijl		eisen		woningkenmerken	
	behoefte		ontwerp		
perceptie		ventilatiesysteem		materialen, water	
	gebruik		uitvoering		
gedrag		bruikbaarheid		emissies	
	luchthoeveelheid		beheer		
blootstelling		effectiviteit		energiegebruik	
gezondheid		luchtkwaliteit		milieukwaliteit	

Schema 7. Onderzoeksaspecten van hoofdstuk 7

Ventilatie vraagt in het stookseizoen energie voor het opwarmen van de verse lucht: de ongecontroleerde luchtverliezen en de gecontroleerde ventilatie door ramen en roosters en daarnaast hulpenergie voor mechanische voorzieningen. Ongecontroleerde ventilatie neemt af, naarmate harder aan kanalen wordt gezogen.

Er zijn nauwelijks gegevens over het energiegebruik in de praktijk voorhanden. Veelal gebruikt men rekenmodellen, die de technische kenmerken en het gebruik als uitgangspunt nemen, om uitkomsten te vergelijken op energiekwaliteit.

## 7.2 Vergelijking van het energiegebruik voor drie ventilatiesystemen

Het gebruik wordt door meerdere factoren bepaald:

- de "autonome" ventilatie via kieren;
- de leefstijl van de bewoners;
- het woningtype, vanwege onderscheid naar wonen en slapen op dezelfde of meerdere lagen;
- het ontwerp van de voorziening;
- de "temperatuur zonder verwarming", een gevolg van isolatie, raamoppervlak en bezonning;
- het rendement van de zonnijdrage en interne bronnen;
- het opwekkingsrendement van de verwarming.

Door deze kenmerken te beoordelen in samenhang met verschillende ventilatiesysteem, ontstaat inzicht in de factoren die het energiegebruik in de praktijk beïnvloeden. In tabel 14 worden de uitkomsten vergeleken met een referentiesituatie, die op 100 is gesteld. De referentie is een eengezinswoning met een  $q_{v10} = 300$  l/s en mechanische ventilatie.

	Traditioneel huishouden		tweeverdieners		cocooners	
	Weinig	Veel	Weinig	Veel	Weinig	Veel
<b>Eengezinswoningen <math>q_{v10} = 300</math></b>						
Natuurlijk	85	105	55	75	70	90
Mechanisch traditioneel	80	Ref=100	50	70	70	90
Mechanisch HR	70	95	45	65	60	85
Gebalanceerd traditioneel	65	80	45	60	50	65
Gebalanceerd HR	55	70	35	50	40	55
WP boiler HR	65	70	50	60	55	65
<b>Meergezinswoningen <math>q_{v10} = 200</math></b>						
Natuurlijk	70	100	50	70	60	80
Mechanisch traditioneel individueel	75	95	50	65	70	90
Mechanisch individueel HR	60	85	45	60	60	80
Mechanisch traditioneel collectief	150	200	130	160	140	180
Mechanisch collectief HR	130	180	100	140	110	160
Gebalanceerd traditioneel	55	75	45	60	50	65
Gebalanceerd HR	50	70	40	55	45	60
WP boiler HR	65	70	50	60	55	65

	Traditioneel huishouden		tweeverdieners		cocooners	
	Weinig	Veel	Weinig	Veel	Weinig	Veel
<b>optimaal <math>q_{v10} = 80</math></b>						
Mechanische ventilatie HR	65	85	45	65	60	80
Mechanisch HR + auto toevoer	60	75	45	65	55	70
Balansventilatie HR	50	60	30	40	40	50
Hybride op basis m.v. HR	60	80	40	60	45	70
Hybride op basis balans HR	60	80	35	45	50	60
WP boiler HR + auto toevoer	60	65	45	55	55	60
Mechanisch HR coll + auto toevoer	110	140	95	120	100	125

Tabel 15. Energiegebruik onder verschillende condities

### 7.3 Conclusie

In kierende woningen kost natuurlijke ventilatie meer energie dan mechanische ventilatie. In dichte woningen en bij zuinig gedrag is dit juist andersom, maar de luchtkwaliteit is slechter. HR ventilatoren besparen vooral in de laagstand veel hulpenergie. HR balansventilatie wordt ook veel op de laagstand gebruikt. Hybride ventilatie levert nauwelijks energiebesparing, tenzij een automatische regeling voor optimalisatie zorgt. Hybride ventilatie geeft een gemiddeld hoger ventilatievoud.

De automatisch regelende toevoerroosters geven een besparing, doordat ze minder ventilatielucht toelaten dan bewoners dat zouden doen. Een warmtepompboiler presteert slechter dan HR balansventilatie, omdat het praktijkrendement nog teleurstelt.

De score op comfort en binnenmilieu pakt anders uit dan de score op energiegebruik.

# 8 Verbetermogelijkheden

## 8.1 Inleiding

De vraagstelling is: Hoe kunnen ventilatievoorzieningen verbeterd worden?

De verbetermogelijkheden worden samengevat in een schematisch overzicht per kwaliteitsaspect. Daarna volgt een programma van eisen.

bewoners		woningventilatie		de woning
leefstijl		eisen		woningkenmerken
	behoefte		ontwerp	
perceptie		ventilatiesysteem		materialen, water
	gebruik		uitvoering	
gedrag		bruikbaarheid		emissies
	luchthoeveelheid		beheer	
blootstelling		effectiviteit		energiegebruik
gezondheid		luchtkwaliteit		milieukwaliteit

Schema 8. Onderzoeksaspecten van hoofdstuk 8

## 8.2 Samenvatting verbeteren bestaande systemen

	Natuurlijke ventilatie	mechanische ventilatie	balansventilatie
<b>gebruik en gedrag</b>			
Inzicht in werking en capaciteit	Mechanische ondersteuning (hybride)	Sensorsturing Periodieke meting	Sensorsturing Periodiek controle
Fysieke eisen aan bediening	Afstandbediening, hendel binnen handbereik	Afstandbediening, hendel, hotelschakeling badkamer	Hotelschakeling bij badkamer
Voldoende regelstanden	Kiervergendeling (2 standen) op gevelopeningen	Kiervergrendeling (2 standen) op gevelopeningen	Aparte afzuigkap
Keuzevrijheid ventileren of luchten	goed	goed	Luchten in keuken, badkamer, slaapkamer
Vervuiling	Onderhoudscontract toevoerroosters	Onderhoudscontract toe- en afvoeren	Onderhoudscontract, evt. verbetering filtersectie
Eenvoudig te onderhouden	Onderhoudscontract aanbieden	IFD principes, demontabele stukken, niet instorten en onderhoudscontract	IFD principes, demontabele stukken, niet instorten en onderhoudscontract
inbraakveilig	Veiligheid verhogen	Veiligheid verhogen	Inbraakveilige openingen

	<b>Natuurlijke ventilatie</b>	<b>mechanische ventilatie</b>	<b>balansventilatie</b>
<b>comfort</b>			
Bruikbaar voor koeling in de zomer	Optimaliseren nachtventilatie met overstroom	Optimaliseren nachtventilatie, incl. overstroom	Nachtventilatieopeningen toevoegen
Weinig tocht in winter	Geregelde toevoerroosters, Lokale balansventilatieunits	Geregelde toevoerroosters, Lokale balansventilatieunits	HR balans en lage inductie
Gunstige temperatuurgradiënt	Klimaatgevel en gespreide toevoer	Klimaatgevel en gespreide toevoer	HR balans
Geen vervuiling door systeem	nvt	nvt	Reinigbaar, tevens fijnere filters
Esthetisch aantrekkelijk	spleetroosters	spleetroosters	nvt
<b>energiegebruik</b>			
Laag hulpenergiegebruik	nvt	HR ventilator, regeling op aanwezigheid en vocht, lage weerstand, hybride systeem	HR en zakkenfilter, regeling op aanwezigheid en vocht, hybride systeem
Efficiënte opwarming verse lucht	Gespreide toevoer of via onverwarmde ruimte	Gespreide toevoer of via onverwarmde ruimte	Prima met HR-wtw

<b>binnenmilieu</b>			
Effectieve bronvermindering	Afzuigkap en RV sturing badkamerventilator, hybride systeem	Piekventilatiecapaciteit en hotelschakeling badkamer	Afzuigkap, hotelschakeling badkamer
Piekventilatie mogelijk	Lokale mechanische ondersteuning	Dubbele capaciteit	Afzuigkap en hoger debiet badkamer
Goede kwaliteit verse lucht	Lucht van schone buitengevel	Lucht van schone buitengevel	Verdunningsfactor toekennen, niet van plat dak
Goede circulatie	Overstroom, geveltoevoer niet te ver open	Hogere stand afzuiging en overstroom	Toevoer bij gevelstrook
Geen geluidhinder van systeem	nvt	Grote diameter en goed kanaalverloop, juiste keuze ventielen en ventilatorbox	Goed ontwerp, demping en juiste keuze ventielen en unit
Geluidoverdracht via systeem	Lucht van rustige buitengevel	Lucht van rustige gevel, niveau nacht <25 dB(A)	niveau nacht <25 dB(A), dempers tegen overspraak
Draagt bij aan allergenarm wonen	Capaciteit zomer verhogen: hybride	Capaciteit verhogen: 200%	Onderhoudscontract en hoge capaciteit nacht en badkamer
<b>aanleg en beheer</b>			
Voldoet aan formele eisen	ventilatieadvies	Handhaving volgens bouwvergunning	Handhaving volgens bouwvergunning
Eenvoudig in te passen	nvt	nvt	Toevoer naar gevel niet via instortkanalen
moeilijkheidsgraad montage	Grote zorg voor uitvoering kanalen	Juiste keuze kanalen en box, toezicht op uitvoering	Goed kanaalontwerp, streng toezicht op uitvoering
moeilijkheidsgraad onderhoud	Achterstallig onderhoud wegwerken	Onderhoudsperiodiek vier jaar en achterstallig onderhoud wegwerken	Onderhoudsperiodiek 1 jaar, traditionele units na 10 jaar vervangen

<b>Ecologische milieukwaliteit</b>			
Lage milieulast bij productie	IFD en herbruikbare materialen, kunststof kanalen	IFD en herbruikbare materialen, kunststof kan.	IFD en herbruikbare materialen, kunststof kanalen
Lage milieulast instandhouding	Kanalen en roosters reinigbaar door bewoners	Grote diameter ronde kanalen en ventielen, waaier met grote schoepen	Grote diameter kanalen en ventielen, onderhoudsarme wisselaar en ventilatoren, betrouwbare elektronica
Demontabel, herbruikbaar	Ontwerp op 35 jaar (gevel) tot 100 jaar (kanalen)	Ontwerp op 15 jaar voor de unit, 35 jaar voor gevel en 100 jaar voor kanalen	Ontwerp op 15 jaar voor de unit, 35 jaar voor gevel en 100 jaar voor kanalen

	Natuurlijke ventilatie	mechanische ventilatie	balansventilatie
<b>Kosten per jaar</b>			
investeringsniveau	Voorinvestering in degelijkheid	Voorinvestering in betrouwbare ventilator	Voorinvestering in betrouwbare unit
planmatig onderhoud	Op basis statusrapport	Aanpak op basis van registratie en onderzoek	Aanpak op basis van registratie en onderzoek
storingsrisico en -kosten		Registratie en analyse storingen	Registratie en analyse storingen, preventief onderhoud

Tabel 16. Samenvatting verbetermogelijkheden

### 8.3 Programma van eisen

Het programma van eisen wordt als volgt ingedeeld:

- a. regelgeving
- b. voorlichting
- c. ontwerpeisen, per kamer
- d. eisen aan verbetering van bestaande systemen
- e. uitvoering
- f. beheer
- g. gebruik

#### a. Regelgeving

Aan de geluidsproductie van mechanische apparaten in de eigen woningen strenge geluidseisen stellen. Deze moeten het mogelijk maken om zonder comfortproblemen gedurende de nacht in slaapkamers 7 l/s per persoon te ventileren.

#### Onderhoud

Het onderhoud wettelijk regelen. Daartoe wordt naar het voorbeeld van Zweden een wettelijke limiet gesteld aan de periodieke inspectie, met een verplichting tot corrigerende maatregelen als de capaciteit meer dan 25 % afwijkt van het rechtens verkregen niveau.

#### Handhaving

Bij de oplevering van woningen zien gemeenten strenger toe op het daadwerkelijk realiseren van de vereiste prestatie.

#### Hybride ventilatie

Voor hybride ventilatiesystemen een gelijkwaardigheidsverklaring opstellen.

#### b. Voorlichting

Voorlichting over ventileren stimuleren, met aandacht voor het binnenmilieu en energieaspecten. Doelgroep is de eigenaar bewoner. Voorlichting alleen over verstandig ventileren is niet genoeg. Klachten van bewoners moeten erkend worden.

#### Statusrapport

Bewoners hebben het recht op informatie over de kwaliteit van de ventilatie. Hiertoe wordt periodiek (6 jaar) en bij aankoop of verhuizing een ventilatieonderzoek uitgevoerd. Een ziektekosten of onroerend goed verzekering kan de kosten dekken via een premieverhoging.

#### Ventilatieadvies

Naar analogie van EPA worden de advieskosten van een integraal ventilatieadvies bij daadwerkelijke uitvoering van verbetermaatregelen gesubsidieerd. Het Ontwikkelingsbedrijf in de gemeente Amsterdam heeft een dergelijke regeling.

### **c. Ontwerpeisen**

#### Keuken

- bij natuurlijke en gebalanceerde ventilatie een afzuigkap toepassen en de kooklucht rechtstreeks naar buiten afvoeren;
- bij mechanische ventilatie een hoge piekstand integreren in het systeem ( $>2$  x norm) en deze via hotelschakeling voor de keuken en de badkamer bruikbaar maken;
- een wasemkap toepassen bij zowel individuele als collectieve mechanische ventilatie.

#### Badkamer

- een zelfinstellend ventiel toepassen, om debiet bij laagstand van de ventilator te verhogen, deze moet bovendien in piekstand te zetten zijn;
- zie hierboven: regeling op basis van vochtigheid van wandoppervlak.

#### Slaapkamers

- nachtventilatie naar 7 l/s per persoon;
- geluidbeperkende maatregelen rond instroomvoorzieningen;
- slaapmachines (moderne geconditioneerde bedsteden) ontwikkelen.

#### Kunststof voor een beter milieuprofiel

Er wordt een grote toepassing verwacht voor kanalen en boxen van geluiddempende en thermisch isolerende kunststof.

#### Onderhoudsbewust ontwerp

Het onderhoudsgemak moet leidraad zijn voor onderhoudsgevoelige componenten. Filtercassettes zodanig inrichten, dat de schuiven niet onderling verwisselbaar zijn of op de kop gemonteerd kunnen worden (naar het voorbeeld van floppydisks). De filters zodanig inklemmen, dat deze bij het inschuiven niet opstropen of beschadigen. Het systeemontwerp kan worden verbeterd met rechte verticale kanalen, die aan de onderzijde vrij toegankelijk zijn. Horizontale kanaalstukken demontabel verbinden. Inspectie/reinigingsluiken aanbrengen, voor het vereenvoudigen van inspectie en reinigen van de kanalen.

De vervuiling verloopt minder snel in ronde kanalen met glad binnenoppervlak en grote diameters, in een systeem met geringe horizontale verslepingen en in apparaten en appendages met een optimaal aërodynamisch ontwerp.

#### Hybride ventilatie

Een apart ontwerp voor de zomerventilatie en de winterventilatie maken: natuurlijke ventilatie buiten het stookseizoen en voor nachtkoeling, in combinatie met HR ventilatie in de winter. Het ontwerp maakt in de zomer voor de afvoer gebruik van het trappenhuis of van een vide, met bovenin een regelbare opening, bijvoorbeeld een op afstand bedienbaar dakraam.

#### Vraaggestuurde ventilatie

Het systeem van vraaggestuurde ventilatie toepasbaar maken voor natuurlijke en voor hybride ventilatie. Hiervoor elektronisch gestuurde toevoer koppelen aan een stromingssensor in het afvoerkanaal. Vraaggestuurde ventilatie ontwikkelen voor ventilatie met warmtepompboiler.

### **d. Eisen aan verbetering van bestaande systemen**

Voor verbetering van bestaande voorzieningen dient een praktijkrichtlijn te worden opgesteld.

Prioriteiten in deze richtlijn:

- verminderen geluidhinder;
- achterstallig onderhoud wegwerken en capaciteiten herstellen;
- overstroomvoorzieningen verbeteren en nieuwe voorzieningen regelbaar maken;
- foutieve aansluitingen, afgeplakte roosters, geiser op een kanaal en dergelijke corrigeren;
- inbraakveilige kierbegrenzing per vertrek aanbrengen;

- inbraakveilige spuivoorzieningen installeren, volgens eisen aan natuurlijke ventilatie met groot debiet.

#### Verbetering natuurlijke afvoerkanalen

Men moet er eerst zeker van zijn dat het natuurlijke systeem te handhaven is. Controleer of de juiste dakkappen zijn geplaatst. Vervang flexibele buis zo mogelijk door gladde bochten. Verhoog indien nodig de uitmonding van een natuurlijk kanaal en breng deze dichtbij de nok. Vergroot indien nodig de toevoeropening naar het afvoerkanaal. Handhaven maakt meer kans, als ook de geveltoevoer en de overstroom verbeterd kunnen worden en bovendien flankerende bouwkundige maatregelen mogelijk zijn, waarmee het binnenmilieu kan worden verbeterd. De verbetering wordt vervolgens gericht op herstel van ontwerp- en uitvoeringsfouten. De verbetermaatregelen aan de kanalen zijn:

- reinigen, speciebaarden wegstoten, gaten of scheuren dichtens;
- kanaal of schacht goed luchtdicht maken;
- ieder kanaal in het plenum een eigen kap geven;
- ongewenste ingrepen van bewoners ongedaan maken: het verwijderen van afzuigkappen, rookgasafvoer, roosters op aanvoeropeningen;
- de dakkap verbeteren: meer uitstroomcapaciteit, isolatie van de kap, verhoogde zuigers;
- en tenslotte: de natuurlijke ventilatie mechanisch ondersteunen, zonder dat de prestatie op normniveau wordt gegarandeerd.

#### Ombouw naar collectieve mechanische afzuiging op bestaande kanalen

De bestaande geshunte kanalen kunnen gebruikt worden voor collectieve mechanische afzuiging, als wordt voldaan aan een bepaalde mate van lektheid en als de diameter voldoende capaciteit toelaat. De lektheid kan op een beperkt aantal manieren worden verbeterd: bekleden, dichtspuiten of van een apart kanaal voorzien. Bekleden met een flexibele kous is de meest effectieve oplossing. Er ontstaat een gladde en dichte wand, waarbij alle nevenkanalen zijn afgesloten. De brandveiligheid ligt momenteel onder vuur, maar de leverancier verwacht een oplossing te kunnen vinden. Door in de woning zelfinstellende ventielen te monteren (via een balg zelfinstelbaar, werkend binnen een groot drukgebied, namelijk van 50-150 Pa), heeft ontregeling geen effect op de afzuiging in andere woningen. Bepaalde ventieltypen kunnen in twee standen worden gezet. De drukgestuurde ventilator corrigeert het effect.

De geluidhinder neemt toe bij meer lekverlies of als de ventilator meer woningen moet afzuigen. Optoeren geeft meer geluidhinder dan een grotere ventilator op relatief lager toerental. De geluidhinder van de ventilator kan met een hoog isolerend plenum, met een goede inregeling en goed onderhoud binnen de perken blijven.

#### Individuele mechanische afzuiging op een bestaand natuurlijk kanaal

In veel woningen is een individueel afvoerkanaal met voldoende diameter beschikbaar, waarop een individuele afzuigbox kan worden aangesloten.

#### Verbeteren van mechanische ventilatie

Prioriteit gaat naar de volgende verbeteringen:

- geluidsmetingen en bij onvoldoende niveau het verbeteren van de geluidsisolatie;
- capaciteitsmetingen en bij onvoldoende herstel vervangen van de box;
- inhalen van achterstallig onderhoud.

### **e. Uitvoering**

#### Kwaliteitssturing

Voor kwaliteitssturing zijn diverse ISSO publicaties voorhanden. Het is van belang om aan de gehele bouwkolom en alle partijen aandacht te schenken. De kwaliteitsverbetering vergt versterking van de positie van de gebruiker.

De door diverse bedrijven aangeboden onderhoudsprotocollen dienen geëvalueerd te worden.

#### **f. Beheer**

Filtering van verse lucht in balansventilatiesystemen kan een kanaalreinigingsbeurt uitsparen en ten goede komen aan de luchtkwaliteit. Filtering gaat ten koste van energie en vergt bovendien extra aandacht van de bewoners. De voor- en nadelen verdienen nader onderzoek.

De aanbevolen maximale bezoekperiodiek (na een steekproef te herwaarderen) is vier jaar, met reinigen en inregelen van de ventilator en de ventielen, waarbij als dat nodig is tevens de lagers worden vernieuwd. Reiniging van de kanalen per 8 jaar. Ventilatoren en dempers per 16 jaar vervangen, of eerder ingeval geluidhinder niet te corrigeren is.

Onderhoud via het onderhoudsbudget financieren.

#### **g. Gebruik**

Bewoners eisen bij ieder systeem dat ingegrepen kan worden. Daarvoor zijn met name de gevelvoorzieningen en dwarsventilatie geschikt. De doorstroming in de zomer vergt dat er in pandig kleppen open kunnen en dat op het dak een goed regelbare opening aanwezig is.

Bewoners wensen dat de ventilatie smart genoeg is om automatisch een basiskwaliteitsniveau in stand te houden. Deze basisstand moet instelbaar zijn, met overrule voor de bewoners, maar ook voor een oppervlaktevochtsensor.

De betere beheersbaarheid vraagt bij mechanische en balansventilatie om onafhankelijke regeling per zone: overdag in de woonzone (incl. keuken) en daarbuiten in de slaapzone met badkamer, die over het algemeen veel langer geventileerd moet worden dan de woonzone.

De regeling per vertrek vraagt in twee standen regelbare ventielen, die tevens zelfcorrigerend zijn bij drukverandering door het regelen in andere vertrekken.

#### Minder geluid

Randvoorwaarde voor een beter gebruik van mechanische en balansventilatie is het verlagen van de geluidproductie op de normstand, enerzijds door demping van motorgeluid en anderzijds door lagedruksystemen met grote ventielen of verdringingsroosters.

#### Regelen op aanwezigheid en vocht

De regelparameters aanwezigheid en vocht zijn bruikbaar voor automatische sturing van de ventilatie. De vochtsensor meet een woningspecifieke plek, bijvoorbeeld op een wand in de badkamer.

#### Energiegebruik

Het energiegebruik is verder te verlagen door lage druksystemen met ronde kanalen, grote ventielen.

## **8.4 Conclusie**

Het programma van eisen vraagt op de meeste onderdelen geen spectaculaire ontwikkelingen. Het verbeteren van de geluidskwaliteit en bovendien het integreren van een piekstand, met behoud van goede prestaties bij een lage stand, vergt hoogwaardige technologische vernieuwing. Er zijn op de markt ventielen met twee standen en tegelijk automatische instelling bij drukverandering verkrijgbaar. De integratie in individuele woonhuissystemen vraagt een grotere gevoeligheid. Regeltechniek kan in de toekomst bijdragen aan comfort, een goede luchtkwaliteit en energiebesparing. De onderhoudsgevoeligheid van regelingen is nog een groot probleem. In het hoofdstuk ligt de nadruk op het verbeteren van gebreken en op het wegwerken van achterstallig onderhoud. Dat is technisch eenvoudig uitvoerbaar, maar financieel en maatschappelijk is een grote omwenteling nodig.



## 9 Conclusies en aanbevelingen

### 9.1 Conclusies

De conclusies worden per onderzoeksvraag gegeven.

Wat zijn de eisen aan ventilatie, vanuit de woning en de bewoners?

Geconcludeerd kan worden, dat er met de harde eisen, neergelegd in het bouwbesluit of rehtens verkregen op basis van de bouwverordening vroeger, een goed ventilatiesysteem te realiseren is. Indien aan de minimumeisen wordt voldaan en er verder geen ernstige bouwkundige problemen zijn, dan is een gezonde binnenlucht mogelijk. Om beter in te spelen op eisen van bewoners is een aanvullende set van kwalitatieve eisen ontwikkeld. Deze eisen vormen de rode draad van het onderzoek.

Welke ventilatiesystemen en -producten zijn toegepast?

De woningvoorraad is verdeeld in een helft met natuurlijke en met mechanische ventilatie. Aan deze systemen wordt veel aandacht geschonken. Vanwege de actualiteit van gebalanceerde ventilatie (30% van de nieuwbouw wordt inmiddels hiermee uitgevoerd en het aandeel stijgt) wordt ook vaak gerefereerd aan ervaringen met gebalanceerde ventilatie.

Wat zijn kenmerken in de praktijk?

Er is veel kritiek mogelijk op welke voorziening dan ook. De kritiek heeft deels te maken met de hardnekkigheid van bepaalde problemen en met de geringe aandacht voor klachten van bewoners. Tot 75-80% van de bewoners blijkt in diverse onderzoeken tevreden te zijn. In woningen van tevreden bewoners blijkt tegelijk dat de afzuiging slechts 50% van de normcapaciteit haalt. Bewoners zijn over het algemeen tevreden als met gevelvoorzieningen goed gelucht kan worden en als de basisventilatie zodanig goed is, dat ingrijpen beperkt nodig is, bijvoorbeeld alleen bij kookgeuren, douchen en na het slapen.

De problemen in woningen met zowel tevreden als ontevreden bewoners spitsen zich toe op slecht gebruik door slechte bedienbaarheid, geluidhinder, tocht, inbraakrisico en te weinig effect van bewust ventileren.

Hoe ventileren bewoners en waardoor wordt ventilatiegedrag bepaald?

Het ventilatiegedrag kan opgehangen worden aan verschillende leefstijlen en binnen die leefstijlen aan twee typen van betrokkenheid bij verse lucht: met of zonder de behoefte om de kwaliteit zo goed mogelijk te controleren. Bij de leefstijl, die getypeerd is als het traditionele huishouden, zijn er weinig ventilatieproblemen. Bij tweeverdieners en alleenstaanden, die overdag buitenshuis zijn, is het moeilijk om bewust te ventileren en om een gezond binnenmilieu in stand te houden. Cocooners ventileren relatief weinig en de kwaliteit van de woning komt onverbiddeijk tot uiting: via geuren en schimmels, of via gezondheidsklachten.

Gesteld wordt dat een grote vrijheid van leefstijlen mogelijk moet zijn en dat de ventilatie veel vrijheid biedt, mits van goede kwaliteit en met goed onderhoud.

Hoe beïnvloedt ventilatie de gezondheid?

De woning stelt vanuit materiaalgebruik, vanuit vervuiling via de kruipruimte of van apparaten woningspecifieke eisen aan de ventilatie. Als het minimum volgens het bouwbesluit zou worden gerealiseerd, dan zijn er weinig problemen met vervuiling te verwachten. Vochtproblemen met bouwkundige oorzaak stellen soms hogere eisen. Huismijt verdient een eigen benadering van het binnenmilieu, waarbij de combinatie temperatuur en vochtigheid beheerst moet worden. De groei van de huismijt levert bruikbare indicatoren voor de kwaliteit van het binnenmilieu op.

De toepassing van rechthoekige toevoerkanalen maakt balansventilatie na vijf jaar gebruik ongeschikt voor mensen met luchtwegklachten. De kanalen kunnen onvoldoende gereinigd worden.

Collectieve mechanische afzuiging draagt van alle systemen het meest bij aan een gezond binnenklimaat, omdat deze door bewoners nauwelijks beïnvloed kan worden en continu de normstand aan staat. Met drukafhankelijke regeling en zelfinstelbare ventielen wordt het risico van ontregeling bij collectieve systemen verkleind.

Hoe beïnvloeden techniek en gedrag het energiegebruik?

Het ventilatiegedrag is gericht op een zo laag mogelijk energiegebruik, ook als dit ten koste gaat van de binnenluchtkwaliteit. Een lage capaciteit van de afvoer via kanalen vermindert de doorstroming en is niet optimaal vanuit energie-oogpunt. De technische kwaliteit van afvoervoorzieningen moet worden verbeterd om de effectiviteit te verhogen. Samen met automatische sturing is verdere optimalisatie mogelijk, met energiewinst bij ieder systeem.

Hoe kunnen ventilatievoorzieningen verbeterd worden?

De voorstellen voor verbetering betreffen uitbreiding van de regelgeving, wegwerken van achterstallig onderhoud en optimaliseren van bestaande systemen. Ten aanzien van de regelbaarheid per zone en per ventiel en ten aanzien van de geluidproductie zijn technische innovaties nodig. Daarnaast is er vooral in de sfeer van onderhoud en kwaliteitsbewustzijn een omwenteling nodig, met grote financiële offers. De kosten per woning zijn gering, maar vanwege dringende noodzaak tot ingrijpen in meer dan een miljoen woningen is de komende jaren een extra investering nodig van € 100 miljoen per jaar. De ventilatorboxen zijn voor ongeveer 50% aan vervanging toe. Hier ligt een grote kans om HR ventilatoren toe te passen.

## 9.2 Aanbevelingen

De belangrijkste aanbeveling is om de verbetermogelijkheden van hoofdstuk 8 uit te werken en toe te passen.

Aanbevelingen voor onderzoek en ontwikkeling:

- sensoren voor automatische sturing van de ventilatie en de verwarming op oppervlakte vochtigheid en aanwezigheid, met inachtneming van overrule door bewoners;
- aparte sturing van de keuken- en badkamerventilatie of van de woon- en slaapzone;
- hand- en/of automatisch regelbare en zelfcorrigerende toevoer- en afvoerventielen;
- uitdiepen van de keuze tussen integratie of juist scheiding: denk aan de samenhang met andere apparatuur, zoals piekafzuiging, verwarming, beveiliging, stofzuigen;
- nieuwe concepten ontwikkelen: lokale balansventilatie, warmtepompboiler met (ruimtelijke) scheiding ventilator/compressor en buffervat, luchtverwarming op basis van 100% verse lucht;
- uitdiepen van de keuze tussen het regelmatig reinigen van systemen of preventie van vervuiling via betere filtering.

# LITERATUUR

Adan O.C.G., J.E.F. van Dongen en W.F. de Gids, 2000, **Handboek Vocht en Ventilatie, Basis voor Ontwerp, Uitvoering en Beheer**, Rotterdam (ISSO, SBR);

Bacol Ventilatie, 2002, **Het opstellen van een onderhoudsplan mechanische ventilatiesystemen**, Barendrecht;

Bergs J., 2002. **Indicatoren binnenmilieu. Vervolgonderzoek naar relevante bimi-indicatoren voor woningen en kantoren**, DHV Huisvesting en Vastgoed, Amersfoort;

Björkroth M., B. Müller., G. Küchen, en P.M. Bluysen, 2000, Pollution from ducts: What is the reason, how to measure and how to prevent?, in **Healthy Buildings 2000, Proceedings Vol. 2: Design and operation of HVAC systems**, pp. 163-168, Helsinki (SIY Indoor Air Information);

Boer R. de, en K. Kuller, 1997, Mattresses as a winter refuge for house-dust mite populations, in **Allergy** 52: pp. 299-305 (Munksgaard);

Bogaard J. van den, M. Weterings en A. Wijnants, 1997, **Aanbevelingen Gezond Bouwen en Wonen vanuit het gezichtspunt van de GGD**, Rotterdam (GGD Rotterdam en omstreken);

Bogaard J.H.M. van den, 1990, **Determinanten van gezondheid, Overzichtsstudie van de relatie tussen woonsituatie en gezondheidsbeleving**, GVO-rapport 13, Rotterdam, (GGD Rotterdam e.o.);

Boleij J., B. Brunekreef, E. Lebret, D. Noy, H. van de Wiel en K. Biersteker, 1985, **Luchtverontreiniging in woningen**, Den Haag (Ministerie VROM);

Bree, J.J. van, 2002, Onderzoek naar installatiegeluid testwoningen Ecobuild Research te Petten, (intern rapport), BAM Wilma BV, Weert;

Bronswijk, J.E.M.H. van, 1981, **House dust biology for allergists, acarologists and mycologists**, Zeist (NIB Publishers);

Bronswijk, J.E.M.H. van, 1997, **Biotische agentia en het zieke gebouw**, Eindhoven (TUE);

Bronswijk, J.E.M.H., L.G.H. Koren, F.A.M. Horst, M.M.L.F. van Laere, I.P.M. Nillesen, C.E.E. Pernot en G. Schober, 1999, **Gezond en duurzaam bouwen**, Eindhoven (TU Eindhoven);

Bruseker U., 1998, **Raadpleging huurders over duurzaam beheer**, Amsterdam (Nederlandse Woonbond);

Cole E.C., P.D. Dulaney, en K.E. Leese, 2000, Allergen control through routine cleaning of pollutant reservoirs in the home environment, in **Healthy Buildings 2000, Proceedings Vol. 4: Materials, design and construction**, pp. 435-436, Helsinki (SIY Indoor Air Information Oy);

Dongen J. van, en A. Steenbekkers, 1993, **Gezondheidsproblemen en het binnenmilieu van woningen**, Leiden, (TNO);

Fisk W.J., 2000, Review of health and productivity gains from better IEQ, in **Healthy Buildings 2000, Proceedings Vol. 4: Materials, design and construction**, pp. 23-34, Helsinki (SIY Indoor Air Information Oy);

- GGD Rotterdam, 2000, **Realisatieplan Allergeenarme woningen**, Rotterdam (GGD Rotterdam en Omstreken);
- Haas, F. de, N. van Twillert, D. Anink, M. Liebregts en J. Persoon, **Duurzaam Woningbeheer, (DUWON)**, Utrecht (Nationaal Dubo-Centrum);
- Hasselaar E, (samensteller), 1995, **Aanpak van vochtproblemen in woningen, Symptomen, oorzaken en maatregelen**, Amsterdam (Nederlandse Woonbond);
- Hasselaar E., en S. Schuitemaker, 1995, **Onderzoek Binnenmilieu Spiegelbeeld Rotterdam**, Amsterdam (Nederlandse Woonbond);
- Hasselaar, E., 2001, **Hoe gezond is de Nederlandse woning?**, Delft (Delft University Press);
- Hasselaar, E., 2002, **Rapportage gezondheidsonderzoek testwoningen Ecobuild Research**, Delft;
- ISSO, (1997), **NEN 1087 en NPR 1088, Ventilativenorm en Praktijkrichtlijn**, Rotterdam (ISSO);
- Janssen N, en R. Slob, 1991, **Vochtige woningen en cara: een onderzoek naar de relatie tussen cara, vochtige woningen en huisstofmijtantigeen**, Amsterdam;
- Kohler N., 2002, Sustainability and Indoor Air Quality, in **Proceedings Indoor Air 2002, 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate**, Santa Cruz;
- Koren L.G.H., 1995, **Allergen avoidance in the home environment: a laboratory evaluation of measures against mite, fungal and cat allergens**, Eindhoven (Technische Universiteit Eindhoven);
- Kort H.S.M., L.G.H. Koren, C.A.F.M. Bruijnzeel-Koomen, I.P.M. Nillesen, en J.E.M.H. van Bronswijk, 1997, **Van Binnenmilieu-klachten tot GezondheidsClassificatie van nieuwe en gerenoveerde woningen (GCW). Deel 1: van ziekten en klachten, naar bouwkundige kenmerken**, Eindhoven (TU Eindhoven);
- Lammertink M.A., en E.J.M. de Groot, 1985, **Analyse van 72 vochtonderzoeken**, Den Haag (Ministerie van VROM,)Leiden;
- Leslie G.B., en F.W. Lunau, (samenstellers)1992, **Indoor air pollution, problems and priorities**, Cambridge (University Press);
- Liddament M.W., 1996, **A guide to energy efficient ventilation**, IEA Annex 5, AIVC, Coventry, Great Britain;
- Lucht F. van der, G. Meijer, F. Duijm, J. Broer, en R. Nijdam, 1995, **Binnenmilieu-Luchtweg Onderzoek**, Groningen (GGD-GSO);
- Luxemburg, L.C.J. van, C.E.E. Pernot, en P.G.S. Rutten, 1997, **Van binnenmilieuklachten tot gezondheidsklassificatie van nieuwe en te renoveren woningen (GCW). 2: van gezondheidsrisico naar bouwbesluit-systematiek**, Eindhoven (Centrum Bouwonderzoek TNO-TUE);
- Lynden-van Nes, A.M.T., 1999, **Effective mite allergen avoidance in households with asthmatic children, clinical, technical and behavioral aspects**, Eindhoven (Technische Universiteit Eindhoven);
- Mansson L-G, 1995, **Evaluation and demonstration of Domestic Ventilation Systems -State of the art, IEA Annex 27**, Stockholm (Swedish Council for Building Research);
- Martin, H., 2000, Smart sensors replace expensive building control systems, in **Healthy Buildings 2000, Proceedings Vol. 2: Design and operation of HVAC systems**, pp. 687-692, Helsinki (SIY Indoor Air Information Oy);

Meijer A., L.Reijnders, M.A.J. Huijbregts, 2002, Human health damage due to indoor pollution in life cycle impact assessment, in **Proceedings Indoor Air 2002, 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate**, Santa Cruz;

Meijer G., en F. Duijm, 2002, **Zuinig, warm en schoon; balansventilatie en binnenmilieu** (concept), GGD; Groningen;

Mølhave L., M Krzyzanowski, Z Pan, The right to healthy indoor air, in **Proceedings Indoor Air 2002, 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate**, Santa Cruz;

Morawska L., 2000, Control of particles indoors, state of the art, in **Healthy Buildings 2000, Proceedings Vol. 2: Design and operation of HVAC systems**, pp. 9-20, Helsinki (SIY Indoor Air Information Oy);

Pasane P., en M. Mattila, 2000, The effect of duct cleaning and rebalancing of the exhaust ventilation system on air changes in block of flats, in **Healthy Buildings 2000, Proceedings Vol. 2: Design and operation of HVAC systems**, pp. 203-204, Helsinki (SIY Indoor Air Information Oy);

Rijsbergen O. van, 2001, **Rapportage Onderzoek Toetslijst Ventilatie**, Woonbond, Amsterdam;

Rueb A.S., H.E.M. Vrolijk en E.E. de Wijkersloot-Vinke, 1994, **Huurrecht memo 1994/1995**, Deventer (Kluwer);

Silvester S., en G. de Vries, 1999, **Woonsatisfactie, bewonersgedrag en bewonerswensen bij Voorbeeldprojecten Duurzaam Bouwen**, TU Delft;

Swedish National Board of Housing, Building and Planning, 1992, **Checking the performance of ventilation systems**, Karlskrona,;

Teeuw K.B., 1993, **Sick building syndrome, the role of airborne microorganisms and endotoxin**, Utrecht (Universiteit van Utrecht);

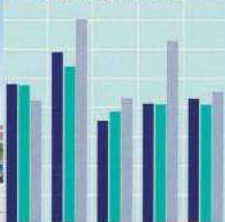
Thuis H., en M. Hady, 1998, **Binnenmilieu Onderzoek Utrecht**, Utrecht (GGD Utrecht);

Veld P. op 't, 2002, Beoordeling van ventilatiesystemen met het mmg: een verkennend onderzoek, Cauberg-Huygen, Rotterdam;

Visscher H, J. Pothuis, 1991, **Woontechnische eisen van het Bouwbesluit deel 2, in relatie tot de bestaande woningvoorraad**, Delft (TU Delft);

Valk MC, en E. Westra, 2000, **LTGO Ventilatie en Gezondheid, Globaal plan van aanpak**, ERGO: Bureau voor Markt- en beleidsonderzoek;

Voute P.D, 1995, **CARA en bouwtechnische maatregelen in de woningbouw**, Amersfoort (DHV).



Onderzoeksinstituut OTB  
Technische Universiteit Delft  
Jaffalaan 9, 2628 BX Delft  
Postbus 5030, 2600 GA Delft  
Telefoon (015) 278 30 05  
Fax (015) 278 44 22  
E-mail [mailbox@otb.tudelft.nl](mailto:mailbox@otb.tudelft.nl)  
[www.otb.tudelft.nl](http://www.otb.tudelft.nl)