

**Bouw**  
Van Mourik Broekmanweg 6  
Postbus 49  
2600 AA Delft

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

T +31 15 276 30 00  
F +31 15 276 30 10  
[info-BenO@tno.nl](mailto:info-BenO@tno.nl)

**TNO-rapport**

034-DTM-2009-02895B/JSP/tlsx

## Verkenning innovatie kwaliteitsbevorderende maatregelen binnenmilieu

### Eindrapport

Datum 29 juni 2009

Auteur(s) ir. P. Jacobs  
ing. B. Knoll  
ing. J.C. Phaff

met bijdragen van:  
dr. ir. M.B.C. Aries  
dr. ir. P.M. Bluysen  
ir. R. Koops  
ir. N. Maas

Opdrachtgever VROM

Projectnummer 034.88354

**Rubricering rapport**

Titel  
Samenvatting  
Rapporttekst  
Bijlagen

Aantal pagina's 86 (incl. bijlagen)  
Aantal bijlagen

Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

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

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

## Samenvatting

TNO is door VROM gevraagd om een verkenning uit te voeren naar innovatieve maatregelen die de binnenmilieukwaliteit bevorderen. De centrale vraag is: “Welke maatregelen zorgen er voor dat in 2030 nagenoeg alle woningen een goed binnenmilieu hebben?” In deze studie wordt met binnenmilieu met name luchtkwaliteit verstaan.

Als eerste stap is een analyse uitgevoerd naar de gezondheidkundige kwaliteit van de huidige woningvoorraad. Op basis hiervan kan worden geconcludeerd dat voor bijna alle bouwjaren en typen eigenaren de ventilatiecapaciteit onvoldoende is of onvoldoende wordt gebruikt. Met name in slaapkamers is sprake van forse aantallen overschrijdingsuren van de CO<sub>2</sub>-grenswaarde van 1200 ppm. Gezien de gegevens over de kwaliteit van ventilatiesystemen in recente nieuwbouwwoningen wordt hierin voorlopig geen verandering verwacht. Betere ventilatie voor zowel bestaande als nieuwbouwwoningen is dringend gewenst.

Andere aandachtspunten zijn de aanwezigheid van schimmels en de constatering dat de concentraties van enkele schadelijke stoffen, zoals formaldehyde, benzeen en vluchtige organische stoffen (VOS), in een aanzienlijk percentage van de woningen de huidige buitenluchtnormen of advieswaarden van de Gezondheidsraad overschrijden.

De woningvoorraad zal in 2030 bestaan uit bijna 8 miljoen woningen, waarvan er nog 1,5 miljoen moeten worden gebouwd (vanaf 2006). Ruim 80 procent van de woningvoorraad in 2030 bestaat dus uit woningen die reeds zijn gebouwd. Maatregelen om de gezondheidkundige kwaliteit te verbeteren, moeten dus in bestaande woningen toepasbaar zijn.

Als tweede stap zijn de verontreinigingsbronnen op basis van herkomst gegroepeerd in vijf klassen.

In de derde stap zijn op systematische wijze voor de bronnen in elke klasse maatregelen gegenereerd. Hierbij is de arbeidshygiënische aanpak toegepast. Deze geeft voorrang aan bronmaatregelen, vervolgens aan maatregelen die de verspreiding beheersen, zoals lokale afzuiging en verdunning en noemt als laatste organisatorische aanpassingen. Daarnaast zijn vanuit fysische basisprincipes “out-of-the-box” maatregelen met bijbehorende onderzoeksvragen afgeleid voor luchtreiniging. In totaal zijn 77 maatregelen beschreven.

Met behulp van scoreaspecten, zoals intrinsieke veiligheid, reductiepotentieel, kosten en milieubelasting is in de vierde stap een preselectie van de maatregelen gemaakt tot 61 maatregelen.

In de laatste stap zijn gelijksoortige maatregelen geclusterd en opgedeeld in termijn van uitvoerbaarheid. Op grond hiervan is een innovatieagenda opgesteld, die de belangrijkste stimulansen voor verbetering van het binnenmilieu weergeeft.

Voor de korte termijn wordt voorgesteld lopend beleid te intensiveren ten aanzien van de emissies van open verbranding en verkeer. Er worden nieuwe instrumenten aanbevolen voor de reinheid van ventilatielucht, emissies van bouwmaterialen, de vangefficiëntie van lokale ventilatievoorzieningen en de gerealiseerde kwaliteit (opleveringscontrole) van systemen die de gezondheid beïnvloeden.

Voor de middellange termijn wordt het stimuleren van systeemontwikkelingen voorgesteld ten aanzien van luchtreinheid, stromingsbeheersing over de schil,

ventilatiesturing op gezondheid, lokale beheersing van emissies, ondersteuning van positief gedrag en faalvrij installeren.

Voor het onderzoek wat een lange termijn vereist wordt onderzoek aanbevolen naar de grondslag van de ventilatie-eisen, (eliminieren van) de kweekrisico's op filters en uitbreiding van de filtratiemogelijkheden voor een verscheidenheid aan componenten bij lage drukval ten behoeve van bestaande woningen met natuurlijke toevoer.

Er wordt aanbevolen om de detailinvulling, op niveau van individuele maatregelen, in een vervolgtraject door experts op de verschillende deelgebieden uit te laten voeren. Het strekt tot aanbeveling om hierbij ook de maatschappelijke acceptatie te toetsen.

Om maatregelen budgetneutraal te stimuleren, wordt voorgesteld om gebruik te maken van een zogenaamde "witte lijst" of voorkeurslijst. Aanbieders kunnen op eigen kosten hun producten laten toetsen. Indien het product aan de eisen voldoet, komt het op de lijst met voorkeursmaatregelen.

## Summary

TNO has been invited to carry out an inventory towards measures that improve the indoor environment. The central question is: "Which measures provide a good indoor environment in nearly all Dutch dwellings by 2030?" With regard to indoor environment this study focuses on air quality.

As a first step an analysis has been carried out towards the state of health of the current stock. Based on this analysis it is concluded that the ventilation capacity is insufficient or insufficiently applied in nearly all date of construction classes and owner types. Especially bed rooms do face a substantial excess of the CO<sub>2</sub> limit of 1200 ppm.

Based on the quality of the ventilation systems in recent, newly built houses, without intervention no improvement is expected in the near future. Improved ventilation systems for both existing and new houses are urgently required.

Other points of attention are the presence of moulds and the observation that in a considerable amount of dwellings the concentration of harmful compounds, such as formaldehyde, benzene and volatile organic compounds (VOC), exceed the current outside air standards and recommended values of the Dutch health council.

The 2030 stock takes up almost 8 million dwellings of which 1.5 million still have to be built (2006 situation). Therefore, actions to improve the stock health especially have to be applicable in existing dwellings.

As second step, the contaminants have been grouped in five classes based on their origin.

In the third step actions have been formulated for each class of contaminants in a systematic way. To do so, the occupational health approach has been applied. This approach favors source elimination or reduction actions, followed by control of dispersion (first local exhaust and second dilution) and last in row organizational actions.

In parallel, from physical basic principles "out of the box" actions with corresponding research questions have been derived for air cleaning.

In totally 77 actions are described.

Using a number of criteria, such as intrinsic safety, emission reduction, costs and environmental impact, in a fourth step a pre-selection has been made towards 61 actions.

In the last step corresponding actions are grouped, subdivided by term of implementation. Based on this, an innovation agenda has been derived, giving the most significant stimuli to improve the indoor environment.

As short term actions it is suggested to intensify the existing policy on open combustion and traffic emission reduction. New instruments are proposed for the cleanliness of ventilation air, building materials emissions, capture efficiency of local ventilation provisions and the realized quality (performance check) of systems that interact with a healthy indoor environment.

As mid term actions the stimulation of new system developments is proposed, concerning air cleanliness, flow control over the building envelope, health based ventilation control, control of local emissions, induction of positive behavior and fail safe installation.

As long term actions research and development is recommended on the basis of the ventilation demands, (elimination of) grow risks of moulds and other contaminants on filter materials as well as extending the filtration possibilities for numerous relevant components at low pressure drop, applicable in existing buildings with natural supply.

As follow up for this research it is proposed to assess the individual actions by experts, followed by a social acceptance check.

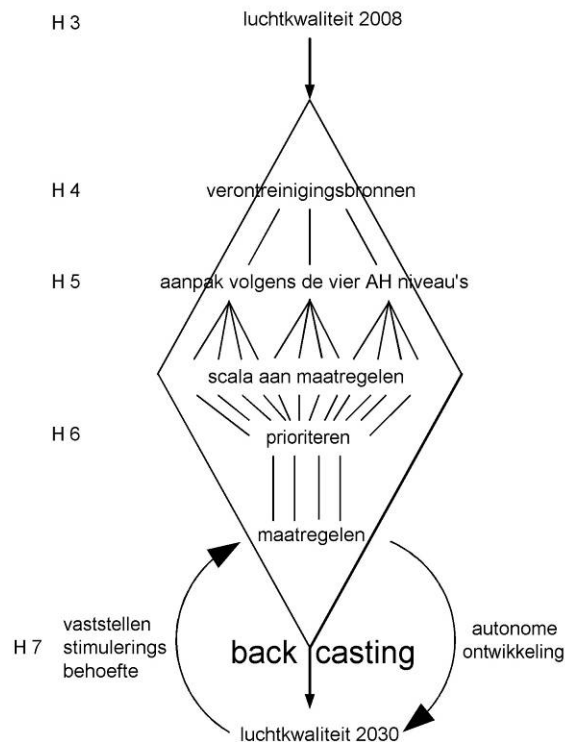
Promotion of actions may be realized budget neutral by using a so called "white list". Suppliers may have their products classified at own costs. When the product fulfills the requirements, it will be placed on the white list with prevailing measures.

# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Doelstelling en aanpak .....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Afbakening en definitie .....</b>	<b>8</b>
2.1	Scopeafbakening .....	8
2.2	Definitie luchtkwaliteit .....	8
<b>3</b>	<b>Gezondheidskundige kwaliteit woningvoorraad .....</b>	<b>9</b>
3.1	Recent uitgevoerde onderzoeken .....	9
3.2	Binnenmilieukwaliteit .....	10
3.3	Ontwikkeling woningvoorraad .....	14
3.4	Conclusies gezondheidskundige kwaliteit woningvoorraad .....	14
<b>4</b>	<b>Inschatting van het effect van de primaire bronnen .....</b>	<b>16</b>
4.1	Schatting gezondheidseffect .....	16
4.2	Overzicht van primaire bronnen .....	16
<b>5</b>	<b>Systematische ontwikkeling van maatregelen.....</b>	<b>18</b>
5.1	Arbeidshygiënische strategie .....	18
5.2	Buitenbelastingen .....	18
5.3	Vochtgerelateerde verontreinigingen .....	20
5.4	Interne verbrandingsproducten .....	23
5.5	Vluchtige Organische Stoffen .....	24
5.6	Bewoners gerelateerde & ventilatiesysteem geïnduceerde verontreinigingen .....	24
<b>6</b>	<b>Preselectie van maatregelen.....</b>	<b>34</b>
6.1	Aanpak en doelstelling .....	34
6.2	Scoreaspecten .....	34
6.3	Selectietabellen .....	35
<b>7</b>	<b>Innovatieagenda binnenmilieu .....</b>	<b>41</b>
7.1	Aanpak .....	41
7.2	Clustering .....	42
7.3	Hoofdlijnen .....	44
7.4	Voorstel voor een innovatieagenda .....	45
<b>8</b>	<b>Uitwerking in beleid .....</b>	<b>47</b>
<b>9</b>	<b>Literatuurlijst .....</b>	<b>49</b>
<b>10</b>	<b>Ondertekening .....</b>	<b>50</b>
	<b>Bijlage(n)</b>	
	A Maatregelen bouwmaterialen	
	B Out of the box maatregelen	
	C Ontwikkeling woningvoorraad	
	D Procesgerelateerde maatregelen	
	E Roadmap	
	F Vergelijking maatregelen met ENVIE	

# 1 Doelstelling en aanpak

TNO is door VROM gevraagd om een verkenning uit te voeren naar innovatieve maatregelen die de binnenmilieukwaliteit bevorderen. Centrale vraag is: “welke maatregelen zorgen er voor dat in 2030 nagenoeg alle woningen een goed binnenmilieu hebben?”. In deze studie wordt met binnenmilieu met name luchtkwaliteit verstaan (zie de scopeafbakening in Hoofdstuk 2).



Bovenstaande figuur geeft schematisch de gevolgde stappen weer. Vanuit de huidige situatie wat betreft luchtkwaliteit (hoofdstuk 3) worden verontreinigingsbronnen geïdentificeerd (hoofdstuk 4). Om maatregelen te genereren (hoofdstuk 5), wordt gebruik gemaakt van de getrapte aanpak die in de industrie succesvol worden toegepast (arbeidshygiënische niveaus):

1. bron wegnemen;
2. bronemissie beperken;
3. stromingsrichting beheersen;
4. organisatorische maatregelen;
5. persoonlijke beschermingsmaatregelen.

Met behulp van een aantal scoreaspecten, zoals onder andere intrinsieke veiligheid, reductiepotentieel, kosten en milieubelasting, wordt in hoofdstuk 6 een preselectie van de maatregelen gemaakt.

Vervolgens is de vraag welke van deze maatregelen moeten worden gestimuleerd en op welke manier, bijvoorbeeld technologieontwikkeling, voorlichting of nieuwe wetgeving. Deze analyse is uitgevoerd volgens de “back casting” methode. Dat wil zeggen dat vanuit het gewenste kwaliteitsniveau in 2030 wordt terug geredeneerd om de te nemen stappen in te schatten.

## 2 Afbakening en definitie

### 2.1 Scopeafbakening

De kwaliteit van het binnenmilieu, zoals ervaren door de mens, wordt in belangrijke mate bepaald door de luchtkwaliteit, het thermisch comfort, het licht en het geluid. De inventarisatie van de kwaliteitsbevorderende maatregelen voor het binnenmilieu zal zich in deze studie met name richten op de **luchtkwaliteit** in niet-industriële gebouwen (zie grijze velden in Tabel 1). Via de bronnen en hun herkomst worden de beheersmogelijkheden in kaart gebracht. Indien deze maatregelen gevolgen hebben voor het thermisch comfort of de licht- en geluidssituatie, dan zullen deze aspecten ook in beschouwing worden genomen.

Tabel 1 Aandachtsgebied binnenmilieu

Scope				
Gebouwde omgeving	woningen	utiliteit	scholen	industrie
Binnenmilieu	luchtkwaliteit	Geluid/akoestiek <sup>1</sup>	thermisch <sup>1</sup>	licht/verlichting
Agens	chemische stoffen	Biologische factoren	deeltjes	straling
Veroorzaker	mens	bouwmaterialen	consumentenartikelen	buitenlucht
Beheersing	bestaande oplossingen		innovatieve oplossingen	

<sup>1</sup> Geluid/akoestiek en thermisch comfort worden wel meegenomen als bijeffect van specifieke maatregelen om de luchtkwaliteit te verbeteren.

### 2.2 Definitie luchtkwaliteit

In dit project worden binnenmilieu-bevorderende maatregelen primair beoordeeld op het effect op de luchtkwaliteit. De volgende definitie wordt gehanteerd:

*“Luchtkwaliteit is de mate van luchtreinheid. De luchtkwaliteit wordt als hoog beschouwd als de luchtvervuiling laag is. De kwaliteit wordt beoordeeld aan de hand van de concentratie van schadelijke stoffen in relatie tot normwaarden.”*

Naast de beoordeling van maatregelen primair op basis van luchtkwaliteit spelen secundair nog als randvoorwaarden mee (zie ook hoofdstuk 6):

- De milieubelasting, in het bijzonder de benodigde hoeveelheid energie om deze kwaliteit te bereiken;
- Eventuele geluidsoverlast ten gevolge van de maatregelen;
- Eventuele nadelige effecten op het thermisch comfort;
- Kosten.

In het binnenmilieu wordt een groot aantal stoffen aangetroffen, waarbij van het merendeel het effect onbekend is. In de ARBO-regelgeving wordt om deze reden uitgegaan van het ALARA (As Low As Reasonable Achievable) principe. Om vast te stellen of een maatregel “redelijk” is, spelen de genoemde randvoorwaarden een belangrijke rol.



## 3 Gezondheidskundige kwaliteit woningvoorraad

### 3.1 Recent uitgevoerde onderzoeken

In opdracht van VROM zijn vier onderzoeken uitgezet naar de stand van zaken wat betreft de gezondheidskundige kwaliteit van de woningvoorraad:

1. De gezondheidskundige kwaliteit van de Nederlandse woningvoorraad is in beeld gebracht door meting van een relevant aantal chemische, biologische en fysische agentia in 1240 aselekt gekozen, bestaande woningen, in een drietal jaarklassen en eigendoms categorieën;
2. Er is onderzoek gedaan naar klachten, die kunnen worden gerelateerd aan de kwaliteit van het binnenmilieu bij recent gereedgekomen woningen met een lage energieprestatiecoëfficiënt (epc) in de wijk Vathorst in Amersfoort;
3. Er is in 154 nieuwbouwwoningen onderzoek gedaan naar de naleving van een aantal wettelijke verplichtingen m.b.t. gezondheid in woningen en de energieprestatiecoëfficiënt (epc). Onderzocht is of de gerealiseerde kwaliteit tenminste voldoet aan de minimumeisen van het Bouwbesluit;
4. Ten slotte is met het oog op de discussies over de veiligheid van gas- en elektravoorzieningen, in 1200 woningen onderzoek gedaan naar de veiligheid van onder meer open verbrandingstoestellen, waaronder geisers.

Hieronder zijn de belangrijkste resultaten en knelpunten integraal overgenomen uit de brief van de minister Vogelaar van 2 januari 2008 aan de kamer:

*“In het algemeen kan worden gesteld dat de gezondheidskundige kwaliteit van de woningvoorraad in Nederland door de jaren heen op enkele belangrijke aspecten zoals geluidshinder, vocht en schimmels, duidelijk is verbeterd en dat het wooncomfort is verhoogd. Helaas blijkt uit de onderzoeken dat zich ook knelpunten voordoen. De belangrijkste knelpunten zijn samengevat:*

#### *woningbouw in het algemeen*

1. *De concentratie van enkele schadelijke stoffen in de binnenlucht, zoals formaldehyde, benzeen en vluchtige organische stoffen, overschrijdt in een aanzienlijk percentage van de woningen de huidige buitenluchtnormen of advieswaarden van de Gezondheidsraad.*
2. *In circa 12% van de woningvoorraad is een ernstig defect aan de gas- en elektravoorziening geconstateerd. Deze ernstige defecten hangen voornamelijk samen met open verbrandingstoestellen zoals afvoerloze geisers, gaskachels en oude cv-ketels. De defecten kunnen leiden tot koolmonoxidevergiftiging. Er overlijdt in Nederland jaarlijks een tiental mensen als gevolg van koolmonoxidevergiftiging in woningen. Daarnaast vinden er jaarlijks 35 tot 45 ziekenhuisopnamen plaats als gevolg van koolmonoxidevergiftiging. Zolang een afvoerloze geiser goed wordt onderhouden en er goed wordt geventileerd, is het risico beperkt. De praktijk is helaas dat onderhoud en ventilatie regelmatig te wensen overlaten.*

#### *recent gebouwde nieuwbouwwoningen*

1. *In 35% van de onderzochte bouwvergunningdossiers ontbreken één of meer binnenmilieugerelateerde berekeningen, waaruit moet blijken dat aan de voorschriften is voldaan. Hoewel er soms sprake is van een kleine afwijking, is van de aanwezige berekeningen slechts 20% geheel correct uitgevoerd. Bovendien wordt bij veel van de projecten gebouwd in afwijking van berekeningen en dus in afwijking van de verleende vergunning.*

2. *De vereiste ventilatiecapaciteit in nieuwbouwwoningen en met name in ruimten als keuken, toilet en badkamer wordt, afhankelijk van de aanwezigheid van mechanische- of gebalanceerde ventilatie in die ruimten, in 30 tot 65% niet gehaald. De ventilatievoorzieningen zijn bovendien in een te grote mate niet goed ingeregeld of verkeerd aangebracht.*
3. *In 90% van de onderzochte nieuwbouwwoningen is een overschrijding gemeten van een acceptabel geluidsniveau van mechanische ventilatievoorzieningen. Dit kan als gevolg hebben dat bewoners de ventilatie-installatie niet gebruiken of in een te lage stand zetten, met een ongezonde binnenluchtkwaliteit als gevolg.*
4. *In 29% van de gemeten woningen voldoet de geluidswering van de gevel niet aan de eis.*
5. *Ongeveer 30% van de nieuwbouwwoningen zijn kritisch wat betreft temperatuuroverschrijding (te warm) in de woning in zomersituaties.*
6. *25% van de nieuwbouwwoningen voldoen niet aan de voorgeschreven energieprestatiecoëfficiënt.*
7. *De naleving door het bedrijfsleven en de handhaving door gemeenten, van de in het Bouwbesluit vastgelegde kwaliteitseisen voor o.a. ventilatie en energieprestatie, laat dikwijls te wensen over. Door deze gebreken alsmede onjuistheden in de uitvoering, blijkt uiteindelijk de woning op veel van de onderzochte aspecten niet aan de eisen van het Bouwbesluit te voldoen.*
8. *In het onderzoek in Vathorst blijken relatief veel gezondheidsklachten een relatie te hebben met aspecten die een oorzaak vinden in het ontwerp, de installatie en inregeling van gebalanceerde ventilatiesystemen met warmteterugwininstallatie.”*

### 3.2 Binnenmilieukwaliteit

In deze paragraaf worden de resultaten van het eerste door VROM uitgezette onderzoek, Actie 29 [van Dongen 2007], nader besproken. In dit onderzoek is getracht een representatieve steekproef te nemen van het Nederlandse woningbestand. Hiertoe zijn van 1240 woningen gegevens verzameld. In deze woningen zijn gedurende een week metingen (temperatuur, RV, CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, VOS inclusief benzeen en formaldehyde) verricht in de periode oktober 2004 – maart 2005 en zijn bij de bewoners vragenlijsten afgenomen. Daarnaast is als woningkenmerk ook het bouwjaar en het soort eigenaar (particulier, sociale verhuurder en commerciële verhuurder) vastgelegd. In de volgende subparagrafen worden per verontreiniging de conclusies ten aanzien van bouwjaar en soort eigenaar kort samengevat. Vanuit het ALARA-principe wordt hierbij niet zozeer uitgegaan van de absolute concentraties als wel van verschillen tussen verschillende groepen.

#### CO<sub>2</sub>

De CO<sub>2</sub>-concentratie wordt vooral als kental gebruikt voor de luchtkwaliteit ten gevolge van door de mens geproduceerde verontreinigingen. Overeenkomstig een advies van de Gezondheidsraad wordt in Nederland een CO<sub>2</sub>-concentratie van 1200 ppm beschouwd als bovengrens. Hogere concentraties duiden op onvoldoende luchtverversing. De CO<sub>2</sub>-concentratie geeft vooral een goede indicatie van de luchtkwaliteit in ruimten die door personen en huisdieren worden bezet. Omdat kamers niet permanent worden gebruikt en soms buiten gebruikperiodes intensief worden gelucht, is het van belang om niet alleen de gemiddelde concentratie maar ook overschrijdingsuren van een gekozen concentratie per kamer vast te stellen.

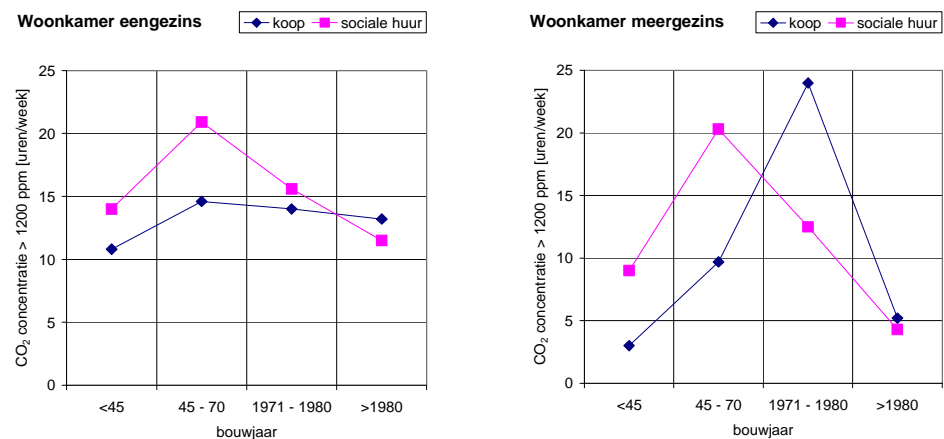
In circa 60% van de verblijfsruimten is voor kortere of langere tijd de CO<sub>2</sub>-concentratie hoger dan 1200 ppm. De gemiddelde duur van de overschrijding is aanzienlijk. In

woonkamers gaat het om gemiddeld 17 uur per week en in de hoofdslaapkamer is dit 21 uur per week.

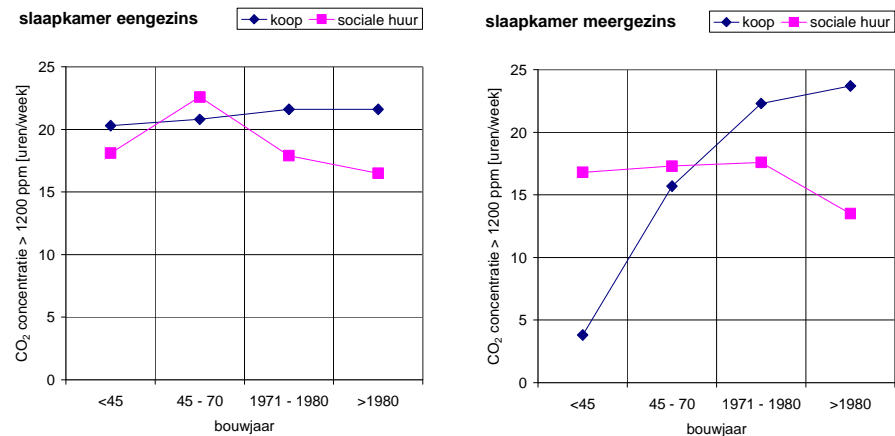
In het eindrapport van actie 29 zijn de resultaten gedifferentieerd naar bouwjaar en beheersvorm. Speciaal voor dit onderzoek is in de database van Actie 29 gezocht of er verschillen bestaan tussen een- of meergezinswoningen (zie Figuur 1 en Figuur 2).

Opvallend bij de meergezins koopwoningen is het hoge aantal overschrijdingsuren in de woonkamer in woningen uit de periode 1971 – 1980. Voor de huurwoningen is ook een dergelijke piek te zien, maar dan in de periode 1945 – 1970. Lijken deze trends in de woonkamer nog enigszins te verklaren uit de ontwikkeling van de luchtdichtheid (Figuur 3) [Cornelissen en de Gids, 1996], voor de slaapkamers is dit geenszins het geval. Bij de slaapkamers van de meergezinswoningen is ook een opvallend verschil te zien tussen koop- en huurwoningen. Terwijl het aantal overschrijdingsuren bij de nieuwe generaties meergezins huurwoningen stabiel blijft of zelfs iets afneemt, neemt het aantal overschrijdingsuren van de meergezins koopwoningen fors toe.

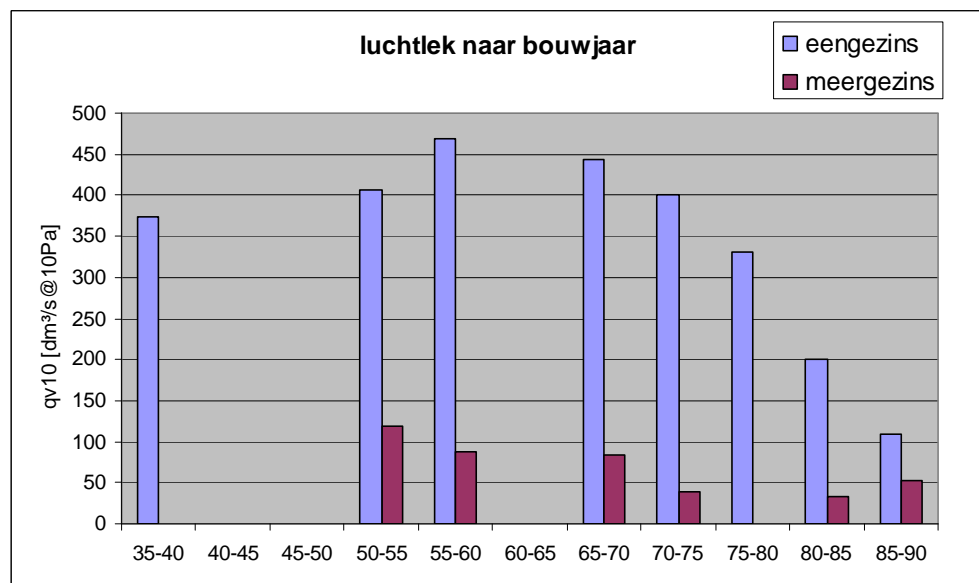
Bij de eengezinswoningen verlopen de CO<sub>2</sub>-overschrijdingsuren door de jaren heen minder geprononceerd. De sterke verbetering van de luchtdichtheid van dit type woningen lijkt weinig effect te hebben. Dit was ook al gebleken uit een landelijke monitoring van ventilatie (2004, Gids en Op 't Veld), waar geen significante invloed van de luchtdichtheid op de woningventilatie werd gevonden. Mogelijke verklaringen hiervoor zijn veranderingen in de ventilatiesystemen of dat de bewoners anders omgaan met de veranderde voorzieningen.



Figuur 1 Aantal uren per week waarbij de CO<sub>2</sub>-concentratie boven 1200 ppm was in de woonkamer



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



Figuur 3 Ontwikkeling luchtdichtheid woningen

## NO<sub>2</sub>

Stikstofdioxide is in voornoemd onderzoek zowel in de woonkamer als in de keuken gemeten. Het ontstaat bij verbranding. Belangrijke bronnen voor deze component zijn koken op gas en buitenlucht (verkeer en industrie). In de woonkamer zijn er qua bouwjaar geen grote concentratieverschillen geconstateerd, echter wel wat betreft eigenaar. De concentraties zijn bij particuliere woningen lager dan bij huurwoningen, met name in de woningen voor 1945. In de keukens zijn hogere concentraties gemeten in de huurwoningen van voor 1970. Dit duidt op een relatie met de leeftijd en staat van onderhoud van de eigen verbrandingstoestellen.

In vergelijking met andere onderzoeken zijn in het onderzoek voor Actie 29 overigens relatief lage NO<sub>2</sub>-concentraties gevonden. De reden hiervoor is onbekend.

**Benzeen**

Per 1 januari 2010 wordt een nieuwe EU-grenswaarde van kracht. Deze grenswaarde wordt in 6% van de woningen overschreden. Op basis van metingen in 400 woningen zijn er geen systematische verschillen gevonden tussen de verschillende groepen huizen.

**Formaldehyde**

In de woningen zijn metingen uitgevoerd in de keuken en in een andere ruimte waarin veel spaanplaat of multiplex aanwezig was. Als de gemeten weekgemiddelde waarden overeenkomen met de jaargemiddelde waarden, dan is zowel in circa 55% van de keukens als in de overige, bemeten ruimten de concentratie hoger dan de grenswaarde op basis van het maximaal toelaatbaar risico op jaarbasis.

Op basis van metingen in 400 woningen zijn systematische verschillen met de bouwjaren gevonden. In koopwoningen na 1980, sociale huurwoningen gebouwd tussen 1970 en 1980 en particuliere huurwoningen voor 1970 worden gemiddeld hogere formaldehydeconcentraties gevonden in bijvoorbeeld de zolderruimte of in slaapkamers dan in andere groepen woningen.

Een mogelijke oorzaak van hogere concentraties op zolder is dat daken vaak slecht zijn geïsoleerd. Indien in de dakconstructie spaanplaat of multiplex is verwerkt, kan bij zoninval op het dak de temperatuur van deze materialen sterk toenemen. Bij hogere temperatuur neemt de emissie van formaldehyde sterk toe.

**Vluchtige Organische Stoffen**

De door de gezondheidsraad geadviseerde jaargemiddelde grenswaarde wordt in bijna 40% van de woningen overschreden. De monsterneming van vluchtige organische stoffen vond in 400 woningen plaats. Van de individuele vluchtige organische stoffen zijn de hoogst gemeten concentraties die van ethanol (alcohol), d-limoneen (geurstof in 'luchtverfrissers') en toluen (verf en tabaksrook). Met uitzondering van koopwoningen, gebouwd tussen 1970 en 1980, zijn er in koopwoningen hogere concentraties van de fracties C10 tot C12 gevonden. Dit geldt ook voor de sociale huurwoningen van voor 1945. De alifatische fractie (pentaan, heptaan en octaan) is verhoudingsgewijs hoger in de koopwoningen van voor 1970 en de sociale huurwoningen van voor 1945.

**Biologische agentia**

De concentratie huisstofallergeen Der p1 is het laagst in de woningen die na 1980 zijn gebouwd. De concentratie Der f1 is voor 1945 ongeveer hetzelfde voor verschillende beheervormen en lijkt daarna alleen in de sociale woningen toe te nemen.

Tijdens het onderzoek is door een opnemer beoordeeld of er sprake is van schimmelvorming. Met name in de sociale verhuur van voor 1945 (11%) en in de commerciële verhuur van 1945 – 1970 (8%) is sprake van relatief veel schimmel. In de koopwoningen van na 1945 en in alle typen woningen van na 1980 is de omvang van de schimmelproblematiek beperkt (max. 3%).

**RV**

De relatieve luchtvochtigheid is in alle woningen gemeten. Over het algemeen zijn de gevonden waarden voor de RV lager in recentere sociale en particuliere woningbouw.

### **Samenhang tussen variabelen**

Onderlinge relaties tussen verschillende aspecten van luchtkwaliteit zijn op verkennende wijze onderzocht. De uitkomsten daarvan zijn consistent met het beeld dat meer ventileren leidt tot lagere CO<sub>2</sub>-concentraties, lagere vochtigheid en lagere temperatuur. Lagere vochtigheid leidt ook tot minder schimmelvorming. Schimmelvorming lijkt daarnaast ook minder te zijn als er extra gevelisolatie is aangebracht (minder koude plekken).

Verontreinigingen door roken en huisdieren lijken samen te hangen met meer ventileren.

Er lijkt, mogelijk vanwege veiligheidsredenen en verkeersgeluid, in de 4 grote steden minder te worden geventileerd.

### **3.3 Ontwikkeling woningvoorraad**

De huidige woningvoorraad bestaat uit 6,9 miljoen woningen. De voorraad bestaat voor het grootste deel uit koopwoningen (56 procent), gevolgd door sociale huurwoningen (33 procent) en particuliere huurwoningen (11 procent). Het belang van koopwoningen wordt alleen maar groter in de voorraad. Ongeveer driekwart van de nieuwbouwproductie de afgelopen 15 jaar bestaat uit koopwoningen. Deze ontwikkeling wordt versterkt door de onttrekkingen, die voor het merendeel uit huurwoningen bestaan.

Men verwacht dat de woningvoorraad in totaal met ruim 1 miljoen woningen toeneemt in de periode 2006-2030. De gemiddelde groei is 45 duizend woningen per jaar. De woningvoorraad zal in 2030 uit bijna 8 miljoen woningen bestaan, waarvan er nog 1,5 miljoen moeten worden gebouwd (vanaf 2006). Ruim 80 procent van de woningvoorraad in 2030 bestaat dus uit woningen die reeds zijn gebouwd. In bijlage C wordt de uitsplitsing per bouwjaar en eigendom gemaakt.

Veel experts verwachten een stijgende lijn in renovatie, ten koste van nieuwbouw. Vooral nog tonen de cijfers van de bouwsector nog geen voortekenen van deze trend. Als deze trend zich echter voordoet, is het belangrijk de kwaliteitseisen bij renovatie ook voor het binnenmilieu goed vast te leggen. Het accent van de wettelijke eisen (Bouwbesluit) ligt thans vooral op nieuwbouw.

### **3.4 Conclusies gezondheidskundige kwaliteit woningvoorraad**

Op basis van de gemeten CO<sub>2</sub>-concentraties kan worden geconcludeerd dat in bijna alle bouwjaren en eigendomsstypen de ventilatiecapaciteit onvoldoende is of onvoldoende wordt gebruikt. Met name in slaapkamers is sprake van forse aantallen overschrijdingsuren. Gezien de gegevens over de kwaliteit van ventilatiesystemen in recente nieuwbouwwoningen wordt hierin voorlopig geen verandering verwacht. Betere ventilatiesystemen voor zowel bestaande als nieuwbouwwoningen zijn dringend gewenst.

Schimmel komt vooral voor in sociale huurwoningen voor 1945 en in commerciële verhuur bij woningen uit de periode 1945 – 1970. Statistische analyse toont een verband tussen lagere luchtvochtigheid en minder schimmelvorming. Naar verwachting speelt de aanwezigheid van koudebruggen hierbij ook een rol.

De concentratie van enkele schadelijke stoffen zoals formaldehyde, benzeen en vluchtige organische stoffen (VOS) overschrijdt in een aanzienlijk percentage van de woningen de huidige buitenluchtnormen of advieswaarden van de Gezondheidsraad.

Ruim 80 procent van de woningvoorraad in 2030 zal uit woningen bestaan die nu reeds zijn gebouwd. Maatregelen om de gezondheidskundige kwaliteit te verbeteren moeten dus in bestaande woningen toepasbaar zijn.

## 4 Inschatting van het effect van de primaire bronnen

### 4.1 Schatting gezondheidseffect

In het 6<sup>e</sup> kader EU-project EnVie “Co-ordination action on indoor air quality and health effects” [Envie 2009] is een schatting gemaakt van het effect van diverse verontreinigingsbronnen op de ziektelast. Deze schatting is gebaseerd op het (subjectieve) expertoordeel van de EnVie-stuurgroep. Bij de schatting is gebruik gemaakt van de DALY-methodiek (“Disability-Adjusted Live Year”, een schatting van het verlies aan ‘gezonde’ jaren). Er wordt geschat dat binnenmilieuverontreinigingen een gemiddelde Europeaan een half jaar aan gezond leven kost. Hiervan is ruim de helft (52%) afkomstig van buitenbronnen. De rest is afkomstig van zeven groepen:

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

Deze schatting is voor een gemiddelde Europese situatie. De bijdrage van de verschillende posten zullen per regio en binnen een regio zelfs per gebouw verschillen. Wat betreft Nederland is ingeschat dat radon (2%) en verwarming en verbrandingsapparatuur (10%) een lager aandeel hebben en vocht (22%) en buitenlucht (56%) een groter aandeel hebben in de ziektelast.

### 4.2 Overzicht van primaire bronnen

In de woning komt een groot aantal verontreinigingsbronnen voor. Om deze bronnen op een gestructureerde manier aan te kunnen pakken, zijn de bronnen in dit rapport in vijf klassen gegroepeerd. De volgorde waarin de bronnen worden gepresenteerd, is gebaseerd op de schatting van het verwachte gezondheidseffect van de in paragraaf 4 beschreven verontreinigingsbronnen. De laatste klasse, “bewoners-geïnduceerde verontreinigingen”, is daarbij aanvullend ten opzichte van de Envie-methodiek.

#### 4.2.1 *Buitenbelasting*

De buitenbelasting is afkomstig van verkeer, industriële bronnen en uitstoot van omliggende woningen. De buitenbelasting komt door de ventilatielucht of via infiltratie in de woning. Belangrijke componenten zijn NO<sub>x</sub> en fijn stof.

#### 4.2.2 *Vochtgerelateerde bronnen*

Vocht op zich zelf is geen verontreiniging, echter de aanwezigheid van vocht is essentieel bij de groei van biologische agentia. Zie hiervoor ook bijlage A2. Een belangrijke reden om te ventileren is het afvoeren van vocht uit een woning. Vocht, of beter de gevolgen ervan voor de gezondheid, is een relatief onderbelicht probleem. In diverse projecten [o.a. Envie] is vastgesteld dat de gezondheidseffecten van vocht in de



praktijk veel belangrijker zijn dan van allerlei andere, vaak prominenter genoemde agentia, zoals van verbrandingsgassen, bouw- en inrichtingsmaterialen enz.

#### 4.2.3 *Interne verbrandingsgassen*

Belangrijke bronnen zijn open haarden, koken, afvoerloze geisers en kaarsen.

De verbrandingsgassen bestaan grotendeels uit de betrekkelijk onschuldige componenten H<sub>2</sub>O en CO<sub>2</sub>. Daarnaast ontstaan schadelijker stoffen zoals NO<sub>x</sub> en fijn stof. Bij ongunstige verbrandingscondities kan ook CO ontstaan.

Verbrandingstoestellen zoals ketels, boilers en geisers dienen steeds meer van een directe afvoer naar buiten te zijn voorzien. Hun afgassen kunnen verdund via de buitenlucht naar de woningen worden teruggevoerd.

#### 4.2.4 *Vluchtige Organische Stoffen*

Vluchtige Organische Stoffen (VOS) zijn er in een ruime verscheidenheid. Ze hebben diverse bronnen:

- Bouw- en inrichtingsmaterialen;
- Schoonmaak- en reinigingsmiddelen;
- Persoonlijke verzorgingsmiddelen;
- Alcohol;
- Tabaksrook;
- Printers;
- Hobbyactiviteiten;
- Verf;
- Luchtverfrissers.

#### 4.2.5 *Door bewoners geproduceerde verontreinigingen*

In principe zijn alle bronnen, behalve lichaamsgeuren te elimineren. In Nederland wordt de CO<sub>2</sub>-concentratie als kental gebruikt voor de luchtkwaliteit ten gevolge van verontreinigingen die door de mens worden geproduceerd. Overeenkomstig een advies van de Gezondheidsraad wordt in Nederland een CO<sub>2</sub>-concentratie van 1200 ppm beschouwd als bovengrens. Hogere concentraties duiden op onvoldoende luchtverversing.

## 5 Systematische ontwikkeling van maatregelen

### 5.1 Arbeidshygiënische strategie

In de arbeidsomstandighedenwetgeving wordt bij het treffen van maatregelen vaak verwezen naar de arbeidshygiënische strategie. Daarbij wordt bedoeld op de volgende systematische aanpak van vooral verontreinigingen:

1. bronmaatregelen:
  - a. bronnen wegnemen,
  - b. emissies beperken;
2. overdracht beheersen:
  - a. verspreiding beperken,
  - b. verdunnen;
3. organisatorische aanpassingen;
4. persoonlijke beschermingsmaatregelen.

Vanwege de effectiviteit en betrouwbaarheid komt de prioriteit van te treffen maatregelen overeen met de genoemde volgorde. Deze strategie is ook toepasbaar bij het verbeteren van het binnenmilieu in woningen. Als kanttekening geldt dat het laatste niveau, persoonlijke beschermingsmiddelen, wel voor de industrie relevant is, maar in de woonsituatie niet.

In de hierna volgende paragrafen worden met behulp van de arbeidshygiënische strategie op systematische wijze maatregelen afgeleid voor iedere primaire bron uit paragraaf 4.2. Het ultieme doel is om de bronnen te elimineren of zodanig te reduceren dat alleen de mens zelf als bron overblijft. Een aantal maatregelen wordt nader toegelicht. Deze informatie is in een aantal grijs gedrukte kaders weergegeven.

In het 6<sup>e</sup> kader EU-project EnVie [Envie 2009] zijn ook maatregelen afgeleid. Deze zijn gebaseerd op state of the art technologieën. De in dit hoofdstuk genoemde maatregelen geven de laatste stand van de techniek en de wetenschap weer. Bijlage F maakt een vergelijking tussen beide studies.

### 5.2 Buitenbelastingen

#### 5.2.1 *Bronnen wegnemen*

Hierbij zullen met name naburige bronnen van grote invloed zijn, omdat deze nog niet zijn opgemengd en dus relatief hoge concentraties kunnen veroorzaken. Mogelijke maatregelen zijn:

- Elektrisch vervoer;
- Emissie-eisen voor houtverbrandingstoestellen zoals open haarden.

#### 5.2.2 *Emissies beperken*

- Recuperatief remmen (vliegwielen, elektrische generator, motorrem) om emissie van remstof (remvoeringen, banden) te beperken;
- Diffuse, industriële bronnen aanpakken [Arthur D Little, Environmental images for Dutch industry in 2030];
- Verbeterde uitlaatgasfilters op auto's (dus niet alleen roetfilters, maar ook tegen NOx en VOS);

- Verkeersstroomregeling (groene golf → verkeersbegeleidingssysteem), zodat auto's niet meer hoeven te remmen/optrekken. Per autorit streven naar nog maar een keer remmen, namelijk op het eindpunt;
- Eisen aan de emissie of emissiereducerende maatregelen voor open haarden, bijvoorbeeld betere verbrandingscondities door een hogere verbrandingstemperatuur.

### 5.2.3 *Overdracht beheersen*

- Wegen, kruispunten en tunnels nabij bebouwing beter ventileren. Bijvoorbeeld afvoer van verontreinigingen op basis van thermiek door een hoge schoorsteen op een overkapping, die zorgt voor sterk verdunnen;
- Onbeheerste luchtstroom door de gebouwschil verminderen of stromingsrichting beheersen door:
  - Luchtdichting gebouwschil,
  - Overdruk in de woning ('onbalansventilatie'),
  - Drukdeelring (speciale spouwuitvoering die natuurlijke drukverschillen nivelleert, zie kader);
- Werende eigenschappen gebouwschil verbeteren:
  - Absorptie/reactie/depositie van verontreinigingen in gebouwschil (bv speciaal metselwerk, dakpannen, etc.),
  - Filtrerende isolatiematerialen (lage druk in verband met grote, beschikbare oppervlak in combinatie met minimalisatie kortsluitopeningen);
- Verbeterde filtratie op luchttoevoer van ventilatiesystemen;
- Filtratie met lage drukval voor natuurlijke toevoervoorzieningen.

### 5.2.4 *Organisatorische maatregelen*

- Indien buitenluchtkwaliteit onvoldoende is niet luchten door ramen te openen maar via spui ventilatiesysteem met filter.

#### ***Verminderen onbeheerste luchtstroom gebouwschil met een drukdeelring***

Bij het verdeelringprincipe<sup>®</sup> worden de bestaande spouwen in de gevels onderling verbonden via kortsluitverbindingen (Figuur 4). De doorlaten van spouwen en kortsluitopeningen zijn groot in verhouding tot de perforaties in de buitenbladen (spouwbeluchting, lekken). Zo vormen de spouwen luchttechnisch gezien één ruimte, met een drukniveau dat het gemiddelde is van loef- en lijddruk. Dit resulteert in een sterk verminderd drukverschil over het binnenblad en dus verminderde lekstromen.

Omdat in de gemeenschappelijke spouwruiimte ongeacht de windvariatie steeds een vrijwel constante druk heerst, is een vrijwel constante, natuurlijke toevoer van lucht naar achterliggende vertrekken mogelijk. In die uitvoeringsvorm worden de spouwen en kortsluitverbinding geprepareerd om een schone luchtweg te vormen.

De voordelen van het verdeelringprincipe zijn:

- Eenvoudige, begrijpelijke ventilatie, die altijd op dezelfde wijze reageert;
- Storende lekken in de woning worden functioneel, dus hoeven niet te worden teruggedrongen;
- Slimme benutting van bestaande componenten maakt ingewikkelde extra's overbodig;
- Goede luchtkwaliteit in alle vertrekken, want:
  - o voldoende drijvende kracht aan lijzijde en in kapvertrekken,
  - o ventilatiestroom door de gevel altijd naar binnen gericht,

- consequent reagerend systeem;
- Goede energieprestatie door:
  - sterke vermindering van lekstromen,
  - tegengaan van doorschietende ventilatie (loefzijde),
  - gedeeltelijk terugvoeren van transmissiewarmte,
  - benutting van zonnewarmte op de gevel en omgevingswarmte uit de bodem;
- Tochtvrije toevoer door vrije keuze van plaats en vorm van binnenroosters (los van het kozijn).



Figuur 4 Het verdeelringprincipe® vermindert oncontroleerbare lekstromen

### 5.3 Vochtgerelateerde verontreinigingen

#### 5.3.1 Bronnen wegnemen

- Wasgoed zo veel mogelijk buiten drogen;
- Niet thuis wassen/drogen;
- Koken met gesloten deksels;
- Geen planten.

#### 5.3.2 Emissies beperken

- Beperk het nat afsoppen en dweilen;
- Beperk buffering in constructie en interieur (waterdichte afwerkklagen).

#### 5.3.3 Overdracht beheersen

- Luchtdichte begane grondvloer om vochttransport uit de kruipruimte te blokkeren;
- Toepassen van balans- of overdrukventilatie om onderdruk in de woning te voorkomen, waardoor transport uit de kruipruimte zou kunnen optreden;

- Verhoog de afzuiging van de badkamer tijdens het douchen en tot 4 uur daarna (naarmate vocht beter direct wordt afgevoerd, kan de nadraaitijd korter zijn). Houd de deur daarbij gesloten;
- Automatische inschakeling van de afzuigkap tijdens koken in combinatie met inschakeling van adequate luchtaanvoer. Verhoog bovendien de centrale afzuiging tot 1 uur na het koken;
- Open ventilatievoorzieningen van woon- en slaapvertrekken altijd bij of kort na het betreden en sluit ze (tot een minimum) bij het verlaten van de vertrekken, bij voorkeur met een automatisch systeem, bijvoorbeeld vraaggestuurde ventilatie;
- Seizoensafhankelijke ventilatie en eventueel verwarming (zie kader);
- Voorkomen van stromingsomkering in kieren en naden (zie kader) door handhaven van onbalans in ventilatie (over- of onderdruk) of door toepassing van een drukdeelring.

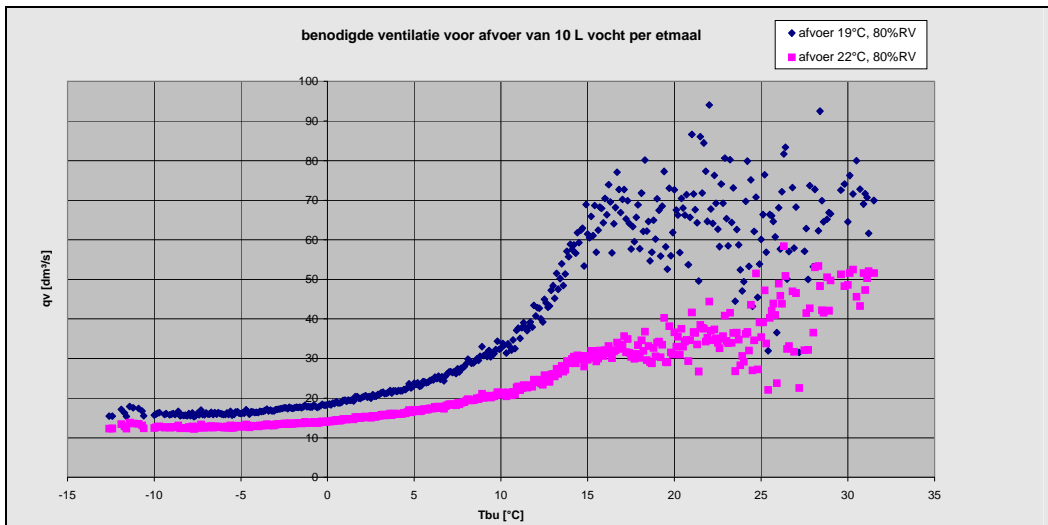
### ***Seizoensafhankelijke ventilatie***

In een gemiddeld Nederlands gezin wordt per etmaal circa 10 dm<sup>3</sup> vocht in de ruimtelucht verdampt (Tabel 1). De hoeveelheid vocht die per kubieke meter ventilatielucht kan worden afgevoerd, hangt af van de absolute vochtigheid van de buitenlucht. In de zomer en op vochtige voor- en najaarsdagen kan de absolute vochtigheid buiten de waarde binnen dicht naderen. Dan is voor de afvoer van woonvocht relatief veel ventilatie noodzakelijk (tot ruim boven het wettelijk minimum). In de zomer is dit bovenmatig ventileren geen probleem, maar wel in voor- en najaar. Dan moet er soms zelfs worden bijgestookt om het woonvocht te kunnen opnemen (Figuur 5). In de winter, bij lage buitentemperaturen, is de absolute vochtigheid laag en kan het woonvocht met relatief weinig ventilatie (ruim onder het wettelijk minimum) worden afgevoerd. Beperking van de vochtafvoer is dan zelfs aan te bevelen om droogteproblemen te voorkomen.

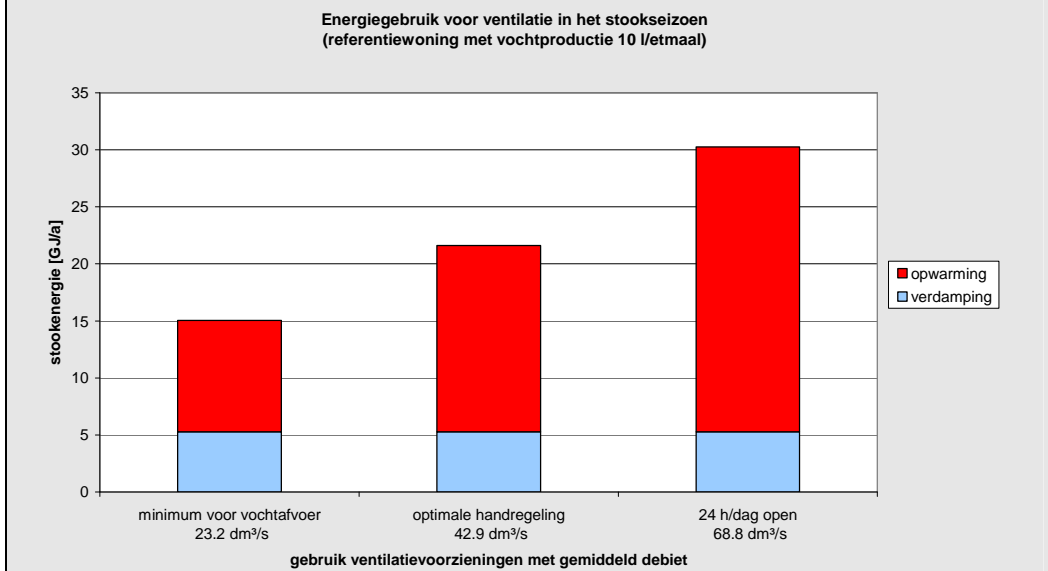
Figuur 6 laat zien hoe belangrijk een goede regeling is om het energieverlies te beperken. De figuur weerspreekt de fabel dat ruimer ventileren energiebesparend zou zijn, omdat de lucht dan droger wordt en dus met minder energie kan worden opgewarmd.

Tabel 1 Gemiddelde vochtverdamping NL gezin

<b>bron</b>	<b>productie [dm<sup>3</sup>/dag]</b>	<b>toelichting</b>
personen	2,6	basis = gemiddeld 2,2 bewoners per woning
koken	0,9	+1,2 indien op gas
afwassen	0,5	
douchen	0,7	basis = gemiddeld 2,2 bewoners
wassen	-	alleen nog iets bij handwas, niet meer bij machinewas
drogen	1,8 à 2,9	
planten	0,5 à 1,0	
aquarium	0,2 à 1,0	
dweilen	1,1	
kruipruimte	1,0	naar de woning
<b>Totaal</b>	<b>10,5</b>	
<b>Eventuele aanvullende posten:</b>		
bouwvocht	4,0	
regenjassen	1,0	op natte dagen*
lekkage	p.m.	op natte dagen*
*Omdat juist op regenachtige dagen de vochtopname in buitenlucht beperkt is, is dit voor ventilatie kritisch en kunnen deze extra posten van belang zijn.		



Figuur 5 Gemiddelde ventilatiebehoefte voor afvoer van woonvocht, afhankelijk van seizoen en stookgedrag



Figuur 6 Energiegebruik ten behoeve van vochtafvoer bij drie verschillende regelwijzen (ventilatie zonder WTW)

**Luchtkwaliteit en stromingsomkering**

Het garanderen van een goede kwaliteit van de toevoerlucht kan niet zonder oog voor de richting van de lekstromen. De luchtstroom die via naden en kieren binnen komt, is van onbekende, waarschijnlijk bedenkelijke kwaliteit. Via diezelfde naden en kieren kan namelijk na draaiing van de wind ook worden afgevoerd. Daarbij kan met de afvoerlucht meekomend woonvocht (bijna) condenseren, waarna in de kieren en naden micro-organismen kunnen gaan groeien. De kwalijke uitscheidingsproducten hiervan worden na terugdraaien van de wind mee naar binnen gevoerd, zonder dat dit zichtbaar is. Thans komt al circa 40% van de ventilatielucht via de luchtlekken binnen. Door

behoefteafhankelijke regeling van de ventilatie zal dit aandeel nog drastisch toenemen. Uit een analyse is gebleken dat bij gemiddelde bezetting circa 97% van de tijd (!) kan worden volstaan met uitsluitend de luchtstroom via de lekken, mits de lucht in de woning goed wordt doormengd. Het gaat dan niet om bijzonder lekke woningen, maar om woningen die een goede luchtdichting volgens de huidige bouwpraktijk hebben.

Beter brongericht afzuigen (removal effectiveness):

- Matrasafzuiging voor directe afvoer van vocht en uitscheidingsproducten van micro-organismen en mijten, in combinatie met temperatuurbeheersing ter beperking van zweetproductie (bronbeperking);
- Verbeterde kookafzuiging → randafzuiging op pannen;
- Omsloten douchecabine die geen vocht absorbeert en waarin de (beperkte) luchtlekken zijn afgestemd op de (verhoogde) momentane afzuiging. Hierdoor treedt geen ongecontroleerde uitstroom van waterdamp meer op. De luchtstroom wordt alleen tijdens het douchen verhoogd en wordt opgewarmd met restwarmte uit het gebruikte douchewater, zodat netto ook energie wordt bespaard;
- Speciale droogkast voor wasgoed;
- Verbeterde toestelafzuiging op wasmachine, wasdroger en vaatwasser;
- Gedifferentieerd afzuigen, dat wil zeggen zoveel mogelijk afzuigcapaciteit richten op het vertrek waar op dat moment vochtproductie plaatsvindt, in plaats van gelijktijdig harder zuigen op alle punten van het systeem.

#### 5.3.4 *Organisatorische maatregelen*

- Voorlichting van bewoners ten aanzien van het beperken van de eigen vochtproductie en bewust (seizoenafhankelijk) ventileren.

### 5.4 **Interne verbrandingsproducten**

#### 5.4.1 *Bronnen wegnemen*

Geen open vuur meer:

- Elektrisch koken en bereiding van warm tapwater met zonnewarmte en elektriciteit;
- Afvoerloze geisers en sfeerverwarmingstoestellen terugdringen.

#### 5.4.2 *Emissies beperken*

- Schoon brandende kaarsen via productkeur.

#### 5.4.3 *Overdracht beheersen*

- Koken met 100% effectieve, lokale afvoer voor zowel de vlam als de bakgassen, gekoppeld aan vrijgave van het kooktoestel;
- Afzuiging op de oven;
- Verhoogde keukenventilatie tijdens koken, gekoppeld aan vrijgave kooktoestel;
- 100% trekkende open haarden (rookgasventilator, terugslagbeveiligingssensor, regels voor dimensionering, isolatie en uitmonding kanalen);
- Gesloten verbrandingstoestellen toepassen (zowel gebruiks- als sfeertoestellen).

#### 5.4.4 *Organisatorische maatregelen*

- Afzonderen emitterende ruimtes ten opzichte van verblijfruimtes → geen open keukens / drempel in plafond;
- CO-sensoren verplichten bij open verbrandingstoestellen.

### 5.5 **Vluchtige Organische Stoffen**

#### 5.5.1 *Bronnen wegnemen*

- Toepassing van niet of laag emitterende bouwmaterialen stimuleren, bijvoorbeeld door het opzetten van een uniform Europees classificatiesysteem (zie **Bijlage A**);
- Isolatiematerialen tijdens de bouw droog houden (natte isolatiematerialen kunnen een hydrolysereactie vertonen waarbij ureum vrijkomt. Ook kan in nat isolatiemateriaal schimmelmicrobiële groei optreden);

#### 5.5.2 *Emissies beperken*

- Voorkomen dat de temperatuur te hoog kan worden op de plaats van toepassing. Dit is met name op dakbedekking en plafondelementen onder het dak van toepassing;
- Inzetten van wetgeving, richtlijnen en waarschuwingslabels om de emissie van VOS te reduceren. De mogelijkheden hiertoe worden uitgebreid beschreven in [Envie 2008];
- Inkapselen in bouwmaterialen door middel van zelfherstellende sealings/coatings;
- Voorkomen van pyrolyse van in elektrische apparatuur geaccumuleerd stof.

#### 5.5.3 *Overdracht beheersen*

- Afgezogen behang via aansluitingen op de elektriciteitsleidingen en een afzuigventilator in de meterkast;
- Gasfiltratie toepassen (zie **Bijlage B**);
- Extra verdunningsventilatie toepassen, zie ook paragraaf 5.6.

#### 5.5.4 *Organisatorische maatregelen*

- Hobbyactiviteiten waarbij VOS vrijkomen in een speciale hobbykamer met onderdrukventilatie en lokale afzuiging uitvoeren.

### 5.6 **Bewoners gerelateerde & ventilatiesysteem geïnduceerde verontreinigingen**

#### 5.6.1 *Bronnen wegnemen*

Bewoners en hun activiteiten produceren verontreinigingen. Deze zijn moeilijk te vermijden, zonder drastisch in te grijpen in het leefpatroon.

Ook in de systemen zelf kunnen verontreinigingen ontstaan. Filters in het systeem dienen dit te voorkomen, maar blijken onvoldoende tegen te houden of zelf een vervuilingbron te kunnen vormen [Bluyssen 2003]. Vorming van micro-organismen op filters blijkt een belangrijke, maar niet de enige bron van verontreiniging te zijn. De condities bij de filters spelen hierbij een belangrijke rol. Micro-organismen als bron kunnen dus worden teruggedrongen door de kritische condities vast te stellen en vervolgens weg te nemen of aan te passen. Op dit punt is nader onderzoek en ontwikkeling gewenst.



### 5.6.2 *Emissies beperken*

Vervuiling van (onderdelen van) het ventilatiesysteem zelf kan een belangrijke oorzaak zijn van verontreiniging van de lucht. Verhoogde concentraties kunnen ook ontstaan door verlies van ventilatiecapaciteit, bijvoorbeeld doordat de ventilator vervuult of de nauwe kanaaltjes van een warmteterugwonelement dichtslibben. De huidige systemen blijken in (te?) hoge mate hiervoor gevoelig te zijn. Ze vergen daarom goede maatregelen tegen vervuiling en consequent periodiek onderhoud. De praktijk is echter dat filtering, onderhoud en reiniging tekort schieten. Daarom dienen systemen zo te worden (her)ontworpen dat ze niet of veel minder gevoelig zijn voor vervuiling en minder kritisch onderhoud vergen.

Voorkomen van capaciteitsverlies door vervuiling speelt bij zowel toe- en afvoer. Het creëren van een reine luchtweg is met name van belang voor de luchttoevoer.

In het verleden was er sprake van een schone toevoerweg. Bij ventilatie via klappramen was de toevoerweg kort en overzichtelijk. De reiniging vond vanzelf plaats tijdens het ramen wassen. Bovendien kon men aannemen dat de aangevoerde buitenlucht schoon was.

Thans hebben de ventilatiesystemen een korter of langer deel van de toevoerweg die aan het zicht is onttrokken en vormt de schoonmaak ervan niet meer een onderdeel van de normale woonhygiëne. Het gevolg is luchtaanvoer via inwendig vervuilde gevelroosters (natuurlijke toevoer) of via vervuilde filters, ventilatoren, kanalen en rozetten (mechanische toevoer). Om hierin een kentering te brengen, dient te worden uitgegaan van de volgende principes:

- positionering van de luchtaanvoer aan de schone zijde van het gebouw (niet aan gevels die aan een drukke weg grenzen);
- gebruik van een zo kort mogelijke toevoerweg, die uit een minimaal aantal onderdelen bestaat en volledig in het zicht ligt (zo nodig transparant), eenvoudig bereikbaar is en onderdeel uitmaakt van de woning (i.v.m. opname in de normale woonhygiëne);
- toepassing van zelfreinigende (bijv. door kloppen, zuigen, stomen of UV) of zichzelf automatisch vervangende filters (bijv. automatisch doordraaiend "boekrolfilter") van hoge kwaliteit (tenminste F7 i.p.v. de huidige G3-klasse, zo nodig aangevuld met actief kool) direct bij de aanzuigplaats (begin van de toe- of afvoerweg);
- goede attendering van de schoonmaakbehoefte bij onderdelen die toch nog kunnen vervuilen, gemeld op plaatsen die in het oog springen, in combinatie met eenvoudig uitvoerbaar onderhoud en goede stap-voor-stap instructie (bijv. a la display van kopieermachines).

### 5.6.3 *Overdracht beheersen*

Door met lokale ventilatie de stromingsweg te beheersen, kan worden voorkomen dat vrijkomende verontreinigingen naar de ademzone stromen. Vormen van dergelijke lokale stromingsbeheersing zijn:

- Directe toevoer van verse lucht bij het hoofdkussen van een bed (Figuur 7);
- Afzuiging via de matras. De functie is niet alleen voorkomen dat verontreinigingen (uitscheidingsproducten van mijten en andere micro-organismen) uit de matras treden, maar ook het sturen op optimale slaapcondities (temperatuur, vochtigheid) die zorgen voor een maximaal slaapcomfort en minimale mijtengroei;
- Douche cabine met directe afzuiging, waaruit nergens ongewenste uitrede van vochtige lucht optreedt;

- Hoogefficiënte kookafzuiging, bijvoorbeeld door combinatie met lokale verdringing;
- Lokale of zonetoevoer bij de zithoek;
- Lokale toevoer via de stoel (Figuur 8). Voor kantoor situaties zijn dergelijke systemen momenteel al te koop in de vorm van een luchttoevoer op het computerscherm.



Figuur 7 Testopstelling voor beproeving van lokale toevoer van verse lucht in een ziekenhuisbed [Nielsen, 2007].



Figuur 8 lokale toevoer in de hoofdsteun van een vliegtuigstoel [Jacobs, 2006].

Goede ventilatieniveaus zorgen voor voldoende verdunning, zodat de concentraties van (resterende) verontreinigingen in de ademzone acceptabel blijven. Opties voor een optimaal functionerende ventilatie zijn:

- Verbeteringen aan de huidige ventilatiesystemen (zie *kader*) op het gebied van geluid en energiezuinigheid (aanleidingen voor te laag ingestelde capaciteiten);
- Storingsvrije ventilatiesystemen;
- Terugdringen van nadelige weersinvloeden, die tot een ongelijkmatige luchtverdeling over de vertrekken leiden, zie *kader lijzijdeproblematiek bij natuurlijke toevoer*. Een optie is zelfregelende toevoer bij lage drukverschillen met lekcompensatie, in combinatie met beperkte luchttek en een koppeling aan de afvoer;
- Fundamenteel onderzoek waarin wordt vastgesteld welke (gasvormige) componenten, die door mensen worden uitgescheiden en uitgeademd, effect hebben op comfort (geurbeleving), prestaties en gezondheid. Vervolgens kunnen maatregelen hierop specifiek worden gericht;
- Ventilatie met lage druk, zie *kader*;
- Hybride ventilatie, zie *kader*;
- Zelfinstellende systemen, waarbij geen inregelen door de installateur nodig is;
- Zelfherstellende systemen, waar het ventilatiedebiet door vervuiling niet afneemt. Vuilafscheider voor ventilator (cycloon, depositiepanelen, bezinktank);
- Verbeterde vraaggestuurde ventilatie, met name de regeling er van. De afgelopen jaren zijn door VROM twee projecten uitgezet om de prestatie van sensorgestuurde ventilatiesystemen te monitoren in woningen (de Gids 2005) en scholen (de Gids 2006). Met behulp van CO<sub>2</sub>-sensoren werden de ventilatiesystemen aangestuurd. In beide projecten blijkt dat de regeling te wensen overlaat, waardoor de capaciteit van de ventilatiesystemen niet optimaal wordt benut.

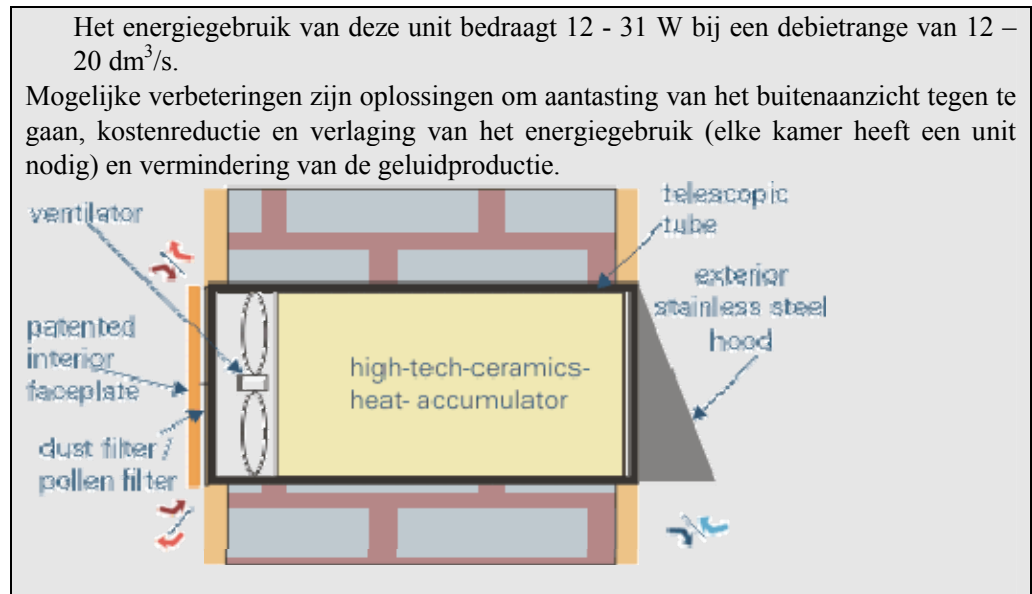
#### **Overzicht huidige ventilatiesystemen**

DWA heeft in opdracht van Uneto-VNI een onderzoek uitgevoerd naar de invloed van verschillende bestaande typen ventilatiesystemen op comfort, luchtkwaliteit en energieprestatie [van der Heide, 2006]. Centrale balansventilatie met warmteterugwinning (WTW) blijkt volgens dit onderzoek het meest kosteneffectief te zijn. Nadelen van het systeem zijn het ruimtebeslag in de woning en de beperkte instelmogelijkheden voor de bewoner. Bij decentrale, vraaggestuurde ventilatiesystemen is de keuzevrijheid voor de bewoners veel groter.

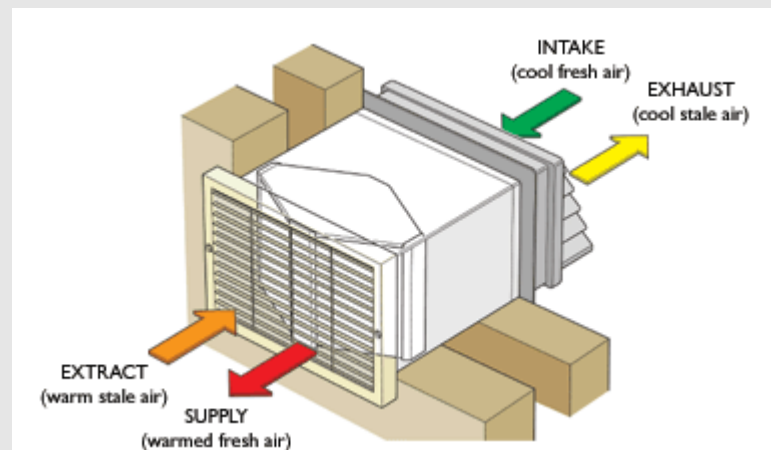
Decentrale WTW lijkt een interessante optie te zijn om aan de nadelen van centrale WTW-systemen tegemoet te komen. Een bijkomend voordeel is dat het systeem ook toepasbaar is bij renovatie. Een belangrijk nadeel is het minder efficiënte luchtgebruik: gebruikte lucht uit verblijfsruimten stroomt niet meer over naar natte ruimten (geen “dubbel” gebruik meer). In plaats daarvan moeten alle vertrekken van een eigen toe- en afvoer worden voorzien, zodat de totale ventilatie toeneemt.

Vooraf Duitse en Engelse leveranciers zijn met decentrale WTW-systemen actief. Er worden hierbij twee concepten gehanteerd voor warmteterugwinning:

1. Figuur 9 geeft de variant weer met recuperatieve warmterugwinning. Bij dit in de buitenmuur geplaatste product wordt 70 s lucht naar binnen geblazen en daarna wordt de draairichting van de ventilator omgekeerd en 70 s lucht naar buiten gezogen. Een keramische buffer zorgt voor warmteterugwinning. Bij een gatdiameter van 26 cm en een debietrange van 5,6 – 10,8 dm<sup>3</sup>/s bedraagt het rendement volgens opgave resp. 90 - 70%, het geluid 28 – 42 dB(A) en het energiegebruik 3 - 6 W;
2. Figuur 10 geeft het principe weer van een geminiaturiseerde, gebalanceerde WTW.



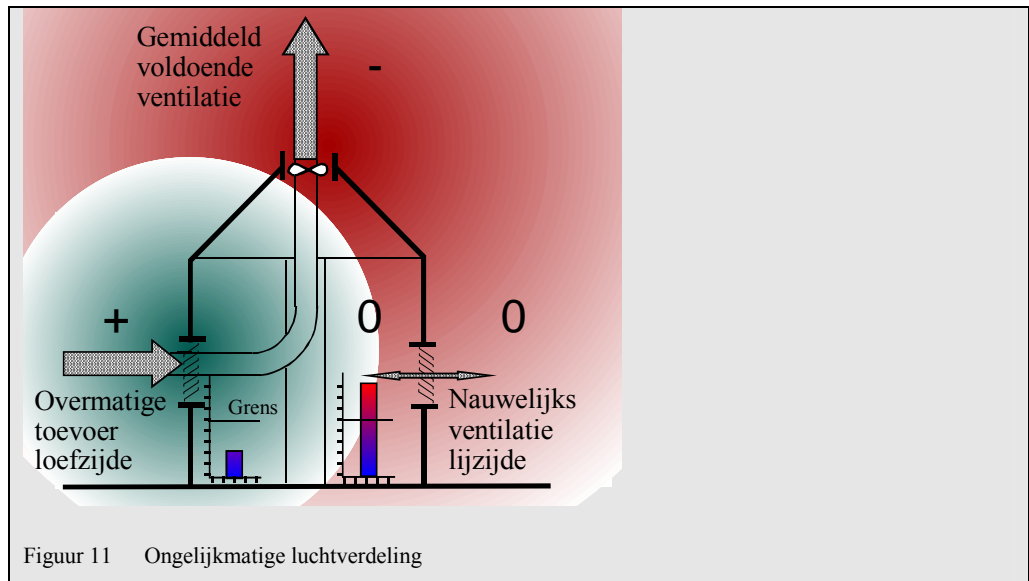
Figuur 9 Decentrale WTW op basis van een keramische buffer (bron: www.inventer.de)



Figuur 10 Decentrale WTW op basis van geminiaturiseerde gebalanceerde WTW (bron: www.vent-axia.com)

### ***Lijzijdeproblematiek bij natuurlijke toevoer***

Uit het project Landelijke monitoring [de Gids 2004] is gebleken dat de totale woningventilatie in het algemeen ruimschoots boven het wettelijk minimum uit komt. Toch komen er onevenredig veel situaties met onvoldoende luchtkwaliteit voor (hoofdstuk 3). Als oorzaak wordt vooral de verdeling over de afzonderlijke vertrekken aangemerkt. Als de wind van de gevel met natuurlijke toevoervoorzieningen is afgekeerd, blijft de vertrekventilatie vaak achter. Dit blijkt uit eerdere meetprojecten en simulaties met ventilatiemodellen (Figuur 11). Beperking van de ventilatie uit energetisch oogpunt kan in de toekomst dit effect nog verergeren. Verhelpen van dit probleem zal een groot positief effect hebben op de luchtkwaliteit. Het is dus zaak dat mogelijkheden worden ontwikkeld om ventilatiesystemen op dit punt te verbeteren, bij voorkeur impliciet met verdere verbeteringen van de energiezuinigheid. Een voorbeeld is de toepassing van zelfregelende roosters die al bij lage drukverschillen regelen en zijn uitgevoerd met lekcompensatie, in combinatie met een gekoppelde regeling van de afvoer en beperking van de luchtlek van de woning.



### **Lage druk ventilatie**

In diverse projecten is de afgelopen jaren vastgesteld dat de prestaties van mechanische ventilatiesystemen te wensen over laten. Hiervoor genoemde oorzaken zijn onder andere ontwerpfouten, fouten bij installatie, verkeerde instellingen omdat de oplevering niet heeft plaatsgevonden en verkeerd gebruik omdat bewoners niet zijn geïnstrueerd. Een fundamentele tekortkoming is dat de systemen op (te) **hoge drukvallen** worden ontworpen. Daardoor kunnen zelfs bij geringe afwijkingen van het ontwerp al geluidsproblemen ontstaan en overmatig energiegebruik optreden. Vanwege geluidshinder worden systemen vaak op laagstand of zelfs uit gezet, wat kan resulteren in een verslechterd binnenmilieu. Ontwikkelingen die hier op inspelen zijn ventilatiesystemen die bij **lage druk** werken. Dit kan worden bereikt door gebruik te maken van kortere en ruimere toe- en afvoerkanalen, zonder scherpe bochten, ruimere warmtewisselaars en efficiënte ventilatoren. Hybride systemen hebben dergelijke eigenschappen. Een andere ontwikkelrichting is om de ventilatie-efficiëntie te verhogen door gebruik te maken van vraaggestuurde ventilatie, waarbij per verdieping of per vertrek wordt geventileerd op basis van de aanwezigheid van personen.

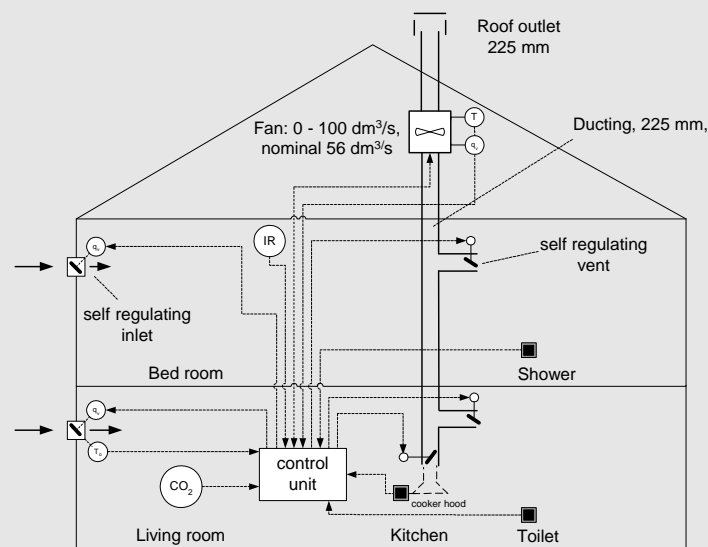
### **Hybride ventilatie**

In oudere woningen zijn de natte ruimten soms nog voorzien van bouwkundige (shunt)kanalen voor de afvoer van lucht. Een voordeel van dit systeem is dat de capaciteit oploopt met het warmteaanbod. Aan dit natuurlijke afvoersysteem kleven echter drie nadelen:

1. Als er onvoldoende drijvende krachten (thermiek, winddruk op gevel) zijn, kan de luchtkwaliteit niet worden gegarandeerd;
2. Als de drijvende krachten groot zijn, bijvoorbeeld bij hoge windsnelheden en/of een groot temperatuurverschil met buiten, kost dit systeem (in het stookseizoen) veel extra verwarmingsenergie;
3. Het loef-/lijzijdeprobleem wordt niet voorkomen.

Ter voorkoming van deze problemen is veelvuldig mechanische afzuiging toegepast. Behalve het energiegebruik van de ventilator is het nadeel hiervan dat de capaciteit niet vanzelf toeneemt met de warmteproductie van de belangrijke bronnen (douchen,

koken). Daardoor heeft ook dit systeem zijn weerslag op het binnenmilieu. Om deze redenen zijn zogenaamde hybride systemen ontwikkeld, die ook goed toepasbaar zijn bij renovatie. Deze systemen zijn voorzien van een speciale ventilator met lage weerstand, die alleen in bedrijf komt als de drijvende krachten te klein zijn. In aanleg betreft het dus een systeem met natuurlijke toe- en afvoer. Om overmatige ventilatie te voorkomen, kunnen in de afvoer per ruimte kleppen worden dichtgestuurd. Om het loef-/lijzijdeprobleem te voorkomen, worden bij lage druk aansprekende, zelfregelende roosters gebruikt. Hun doorgelaten debiet is eveneens per ruimte instelbaar. De instellingen van toe- en afvoerkleppen worden automatisch gestuurd op luchtkwaliteit en temperatuur(overmaat). Een dergelijk systeem is door een Nederlands consortium in het vijfde kader EU-project Reshyvent ontwikkeld (Figuur 12).



Figuur 12 Schematisch overzicht Reshyvent-systeem

Na eliminatie of reductie van verontreinigingen uit bouw- en inrichtingsmaterialen, van verbrandingsprocessen en uit de buitenlucht blijft als verontreinigingsbron de mens over. Ventilatie is een geijkte methode om menselijke effluënten direct af te voeren, de overdracht naar andere ruimtes te beperken of om deze verontreinigingen te verdunnen. In plaats van ruimschoots te ventileren, wordt er vaak minimaal geventileerd vanwege energiegebruik, geluidsoverlast, discomfort en systeemkosten. In nieuwbouwwoningen wordt vaak warmteterugwinning en/of vraaggestuurde ventilatie toegepast om in het stookseizoen negatieve energetische effecten te beperken. In bestaande bouw is het echter vaak lastig om kanalen in het gebouw te integreren voor gebalanceerde ventilatie met WTW, of voor mechanische afvoer in combinatie met natuurlijke toevoer. Luchtreiniging met recirculatie lijkt dan een veelbelovende, energiezuinige methode om zonder allerlei bouwkundige ingrepen de binnenmilieukwaliteit te verbeteren. Hierbij dient echter wel te worden gewaarborgd dat voldoende toevoer van zuurstof en afvoer van CO<sub>2</sub> en waterdamp plaatsvinden, voor zover het luchtreinigingssysteem hierin niet voorziet. Inspiratiebron is de luchtreiniging die al plaatsvindt in gesloten ruimten, zoals onderzeeërs en ruimtestations. In Bijlage B worden op systematische wijze, vanuit de fysische basisprincipes, “out-of-the-box” oplossingen met bijbehorende onderzoeksvragen geïdentificeerd. Tabel 2 geeft hiervan een samenvatting. Een aantal luchtreinigingsmethoden wordt reeds toegepast. Mogelijk kleven hier risico’s aan, zie *kader*.

***Mogelijke risico's met huidige luchtreinigingsapparaten***

Momenteel zijn er diverse apparaten op de markt, die de lucht reinigen door het genereren van ionen. In een aantal onderzoeken is het positieve effect van ionisatoren op de luchtkwaliteit aangetoond. Het is echter nog onvoldoende duidelijk of de werking voor een deel kan worden verklaard door het feit dat ionisatoren naast ionen ook ozon en stikstofdioxide produceren. Ozon zorgt er voor dat de lucht als fris en prikkelend wordt ervaren. Bovendien heeft ozon de eigenschap geurstoffen te maskeren, waardoor de lucht in sommige gevallen inderdaad frisser gaat ruiken [Arbo themacahier Binnenmilieu].

Het is van belang te weten of de apparaten ozon produceren. Ozon kan namelijk tot irritatie van de slijmvliezen leiden. Daarnaast kan ozon met andere chemische stoffen reageren, waarbij er aldehyden ontstaan, bijvoorbeeld formaldehyde. Een positief effect is dat zwevend stof sneller neerslaat.

Onlangs heeft TNO een dergelijk type luchtreiniger getest in een kantoor situatie en in een rookkamer. Op basis van metingen aan fijn stof was geen effectiviteit in een kantoor situatie waarneembaar. In de rookkamer was wel een effect meetbaar, wat overeen kwam met een extra verse luchttoevoer (Clean Air Delivery Rate, CADR) in de orde van grootte van 5 tot 15 dm<sup>3</sup>/s. Het reductiepercentage fijn stof hangt af van de al aanwezige ventilatie. Bij een ventilatie van bijvoorbeeld 21 dm<sup>3</sup>/s bedraagt de verwachte verlaging van de eindconcentratie 20 tot 50%. Ook is nagegaan of ozon ontstaat. Ozon kon bij de geteste luchtreiniger niet worden aangetoond.

Onduidelijk is echter of stikstofdioxide en tussenproducten ontstaan ten gevolge van onvolledige afbraak van grotere organische moleculen. Nader onderzoek naar het werkingsmechanisme van ionisatie is gewenst.

Tabel 2 Samenvatting van veelbelovende out-of-the-box maatregelen voor luchtreiniging uit bijlage B.

<b>Gas/deeltjes</b>	<b>mechanisme</b>	<b>uitvoeringsvorm</b>	<b>onderzoeksvraag</b>
deeltjes	interceptie	Filter	Op welke wijze vormen filtermaterialen onder invloed van reactieve stoffen uit de buitenlucht zelf een verontreinigingsbron?
deeltjes	interceptie	Nog nader te bepalen	Het feit dat verse buitenlucht door een vuil filter wordt getransporteerd is vragen om problemen. Het ontwikkelen van nieuwe filterprincipes die dit nadeel niet of veel minder hebben is noodzakelijk.
deeltjes	interceptie	Nog nader te bepalen	Hoe kan de onderhoudsfrequentie van filters worden verminderd?
deeltjes/gas	diffusie	Dubbelwandige luchtkanalen	Is het mogelijk om luchtkanalen zelfreinigend te maken door ze dubbelwandig uit te voeren?
deeltje	Elektrostatische precipitatie	Filter voor reinigen natuurlijke toevoer	Is het haalbaar om fijn stof decentraal bij natuurlijke toevoervoorzieningen ( $\Delta P < 1 \text{ Pa}$ ) af te vangen? Liefst eenvoudig toepasbaar bij woningverbetering/renovatie.
schimmels	destructie	Afwerkingsmateriaal	Het ontwikkelen van afgiftemechanismen voor biocides, waarbij alleen biocide vrijkomt indien schimmels aanwezig zijn.
gas	fotokatalytisch	Sierpleister op wanden	Hoe kan de vorming van schadelijke tussenproducten worden voorkomen?
gas	adsorptie	actief kool filters	Indicatoren voor de standtijd van actief kool filters zijn gewenst om te voorkomen dat filters veel te vroeg of juist veel te laat worden verwisseld.
gas	Chemische adhesie	Zeoliet filter	Onderzoek naar het ontstaan van eventuele tussenproducten bij afbraak van geurstoffen in zeoliet filters is gewenst.
deeltjes	Elektrostatische adhesie (ionisatie)	Ioniserende verlichting	Onderzoek naar het ontstaan van eventuele tussenproducten bij ioniserende verlichting: door de warmte van de lucht ontstaat een luchtbeweging waarbij de lucht langs een ionisator komt die vervuilde lucht reinigt.
gas	Niet-thermisch plasma	Pijpreactor	Haalbaarheid van luchtreiniging op basis van niet-thermisch plasma?
gas	maskering	b.v. spuitbussen	Wat is het gezondheidseffect van maskering?



#### 5.6.4 *Organisatorische maatregelen*

Mogelijke verbeteringen in de sfeer van organisatorische maatregelen zijn:

- Begrijpelijke terugkoppeling van de werking van het systeem (fail safe) naar de bewoner, bijvoorbeeld een display op de ventilatievoorziening, dat aangeeft dat de werking correct is. Als de werking onvoldoende is of als er een probleem is, dienen directe en voor leken duidelijke aanwijzingen aan de bewoner te worden gegeven. Er dienen dus geen storingscodes te worden gemeld, maar duidelijke, zinvolle verbetermogelijkheden of stap-voor-stap aanwijzingen voor probleemherkenning (diagnostiek);
- Begripsondersteuning en verklaring van de gevolgen van bedieningshandelingen of het nalaten daarvan. De gebruiker heeft vaak onvoldoende kennis van en/of aandacht voor voorzieningen die het binnenmilieu verbeteren en krijgt met de huidige systemen ook geen inzicht in en terugkoppeling over zijn acties. Het bewonersgedrag met betrekking tot ventilatie wordt nu sterk gestuurd door (te) grove signalen (kou/tocht versus bedompt/warm) en ongewenste neveneffecten zoals geluidsoverlast.

Om in alle gebouwen in 2030 een goed binnenmilieu te realiseren, moet naast de ontwikkeling van nieuwe technologieën ook een aantal belemmeringen worden weggenomen. In Bijlage E wordt daarvoor een stappenplan geschetst voor de segmenten woningbouw, utiliteit en daar binnen scholen. Mogelijke maatregelen die hierin worden genoemd, zijn:

- Hanteren van prestatie-eisen in verschillende kwaliteitsklassen, met een deels wettelijke, deels privaatrechtelijke grondslag;
- Kwaliteitseisen voor installateurs, bijvoorbeeld door certificering;
- Opleveringskeuringen, eventueel steekproefsgewijs;
- De claimcultuur van de utiliteitsbouw ook toepassen in de woningbouw;
- Bevorderen van particulier opdrachtgeverschap;
- Verbeteren van het innovatieklimaat.

Bijlage D schetst een nieuwe manier van procesinvulling, waarbij de eisen van de eindgebruiker centraal staan. Dit in plaats van de traditionele benadering, waarin vanuit politiek/wettelijke, economische, sociale en technologische aspecten invulling wordt gegeven aan de eisen, waaraan een gebouw moet voldoen.

## 6 Preselectie van maatregelen

### 6.1 Aanpak en doelstelling

In hoofdstuk 5 zijn per categorie van verontreinigingen systematisch maatregelen gedefinieerd. Het is belangrijk hierin een rangorde aan te brengen. De doelstelling is tweeledig. In eerste instantie wordt vastgesteld welke maatregelen vooral kansrijk en effectief zijn. Daarnaast wordt geïdentificeerd op welke punten nog verbeteringen zijn gewenst.

Op basis van scoreaspecten, die in paragraaf 6.2 worden toegelicht, wordt in paragraaf 6.3 kwalitatief (plussen en minnen) een eerste selectie gemaakt.

De beoordeling telt 5 klassen en loopt van “2” (gunstigste score) tot “-2” (ongunstigste score). Hierbij geldt “0” als neutrale score of als “niet van toepassing”. Een vraagteken “?” geeft aan dat nader onderzoek is gewenst om over het betreffende aspect een uitspraak te kunnen doen.

In hoofdstuk 8 wordt aangegeven welke verdere uitwerking hierna wenselijk wordt geacht.

### 6.2 Scoreaspecten

De aspecten waarop wordt gescoord, worden hier kort toegelicht. Er wordt aangegeven waarop is beoordeeld.

#### *Aantrekkelijke kosten*

Een kwalitatieve inschatting in hoeverre een maatregel tegen beperkte kosten kan worden gerealiseerd. Het betreft bijvoorbeeld kosten voor ontwikkeling, productie, implementatie, onderhoud en energie. Voor de implementatiekosten wordt er vanuit gegaan dat gebruik wordt gemaakt van natuurlijke vervangingsmomenten tussen nu en 2030. Het verschil met de huidige referentiesituatie wordt beoordeeld.

#### *Intrinsiek veilig / betrouwbaar*

Hiermee wordt bedoeld hoe robuust een maatregel is. Dit wordt al in belangrijke mate aangegeven door de rangorde van de arbeidshygiënische methodiek. Bronbenadering is het meest robuust en organisatorische maatregelen zijn het minst robuust.

#### *Reductie van verontreinigingen / toepassingsgebied*

Hiermee wordt geschat in hoeverre de maatregel de luchtkwaliteit en daarmee de gezondheid van bewoners verbetert. Hierbij wordt ook rekening gehouden met het aantal woningen waarin deze maatregel toepasbaar is.

#### *Bouwvriendelijk*

Maatregelen worden bouwvriendelijk geacht als bij nieuwbouw weinig van het gebruikelijke ontwerp en de gebruikelijke uitvoeringswijze hoeft te worden afgeweken. Bij bestaande woningen is dit het geval als de maatregel eenvoudig bij renovatie toepasbaar is.

*Maatschappelijk acceptabel*

Hiervoor is van belang of de maatregel begrijpelijk is en of het de bewoner weinig moeite/comfort kost om de maatregel toe te passen en te onderhouden.

*Duurzaam*

Met de duurzaamheid wordt aangegeven in hoeverre de milieubelasting gedurende de gehele levensloop van het product (productie, toepassing en sloop) wordt beperkt. Het betreft een grove inschatting.

*Levenslooptestendig*

Hierbij is van belang of de maatregel flexibel is ten aanzien van veranderingen in de woningplattegrond. Dit aspect is voornamelijk van belang voor maatregelen in de vorm van ventilatiesystemen.

**6.3 Selectietabellen**

De maatregelen staan op basis van totaalscore gerangschikt. De maatregelen waarvan wordt getwijfeld of deze haalbaar zijn, met een totaalscore kleiner of gelijk aan "nul", zijn rood afgedrukt.

Gezien het feit dat van nog veel aspecten de beoordeling onbekend is (aangegeven met een "?") en dat de wel beoordeelde aspecten grof zijn geschat, moet de rangorde slechts als indicatief worden gezien.

Tabel 3 Buitenbelasting

maatregel	Aantrekkelijke kosten	Intrinsiek veilig	Reductie	Bouw vriendelijk	Maatschappelijk acceptabel	Duurzaam	Levensloopbestendig	totaal
Emissie-eisen voor houtverbrandingstoestellen	2	2	1	1	-2	1	0	5
Verkeersstroomregeling	1	1	1	0	?	1	0	4
Drukdeelring	1	1	2	?	0	0	0	4
Lage druk filtratie voor natuurlijke toevoer	1	0	2	0	0	0	1	4
Elektrisch vervoer stimuleren	?	2	1	0	-1	1	0	3
Verbeterde uitlaatgasfilters op auto's	1	1	1	0	-1	1	0	3
Betere filtratie op de luchttoevoer van ventilatiesystemen	2	0	1	0	0	0	0	3
Luchtdichting gebouwschil	1	1	2	-1	0	0	0	3
Recuperatief remmen (vermijden remstof)	?	1	1	0	-1	1	0	2
Diffuse industriële bronnen aanpakken	-1	1	1	0	0	1	0	2
Absorberende/ reactieve / adsorberende of depositie bevorderende materialen in de gebouwschil	?	1	1	0	0	?	0	2
Filtrerende isolatiematerialen	1	1	1	-1	0	0	0	2
Overdruk in de woning	1	0	1	-1	0	0	0	1
Wegen, kruispunten en tunnels beter ventileren	-1	0	0	0	0	0	0	-1
Intermitterend luchten afhankelijk van de buitenluchtkwaliteit	1	-1	-1	0	-1	0	0	-2
Emissiereducerende maatregelen voor open haarden	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1	-6

Tabel 4 Vochtgerelateerde zaken

maatregel	Aantrekkelijke kosten	Intrinsiek veilig	Reductie	Bouw-vriendelijk	Maatschappelijk acceptabel	Duurzaam	Levensloop-bestendig	totaal
Douchecabine met 100% efficiënte afzuiging	0	1	1	0	1	1	0	4
Voorlichting geven om vochtproductie te beperken	0	1	1	0	1	0	0	3
Automatisch inschakelende, efficiënte kookafzuiging	0	1	1	0	1	0	0	3
Matrasafzuiging	0	1	1	0	1	0	0	3
Seizoensafhankelijke ventilatie en (bij)verwarming	0	1	1	0	1	?	0	3
Randafzuiging op pannen & afgezogen oven	0	1	1	0	1	0	0	3
Luchtdichting begane grondvloer (vochttransport uit kruipruimte blokkeren)	0	2	1	0	0	0	-1	2
Vraaggestuurde ventilatie per vertrek	-1	1	1	-1	1	1	0	2
Keurmerk hoogefficiënte afvoer op vochtproducerende apparaten (wasdroger, vaatwasser, wasmachine)	0	1	1	0	0	0	0	2
Koken met gesloten deksels	0	1	1	0	-2	1	0	1
Beperken buffering in constructie	0	1	1	0	-1	0	0	1
Vermijden luchttoevoer via naden en kieren	?	1	?	?	0	0	?	1
Effectiever ventileren	-1	1	1	-1	0	1	0	1
Wasgoed buiten drogen	0	1	1	-1	-1	1	-1	0
Niet thuis wassen/drogen	0	1	1	0	-2	?	0	0
Geen planten	0	1	1	0	-2	0	0	0
Speciale droogkast voor wasgoed	-1	1	1	-1	0	1	-1	0
Balansventilatie om onderdruk te voorkomen	-1	0	1	-1	0	0	-1	-2
Verhoogde doucheventilatie	-1	0	0	-1	1	-1	-1	-3

Tabel 5 Interne verbrandingsproducten

maatregel	Aantrekkelijke kosten	Intrinsiek veilig	Reductie	Bouw vriendelijk	Maatschappelijk acceptabel	Duurzaam	Levensloop bestendig	totaal
Schoon brandende kaarsen, productkeur	0	1	?	0	1	1	0	3
Koken met 100% effectieve lokale afvoer	0	1	2	-1	1	0	0	3
Gesloten verbrandingstoestellen toepassen	0	1	2	0	0	0	0	3
CO-sensoren bij open verbrandingstoestellen	0	1	0	0	2	0	0	3
Afzuiging op oven	0	1	2	-1	1	0	0	3
Koken en warm tapwater bereiden elektrisch	0	2	2	0	-1	-1	0	2
Afvoerloze geisers en sfeerverwarmingstoestellen terugdringen	0	2	2	0	-2	0	0	2
100% trekkende open haarden	0	1	1	-1	0	-1	0	0
Emissiereducerende maatregelen open haarden	-1	0	1	-1	-1	1	0	-1
Geen open keukens	0	0	0	-1	-2	0	-1	-4

Tabel 6 Vluchtige organische stoffen

<b>maatregel</b>	<b>Aantrekkelijke kosten</b>	<b>Intrinsiek veilig</b>	<b>Reductie</b>	<b>Bouw-vriendelijk</b>	<b>Maatschappelijk acceptabel</b>	<b>Duurzaam</b>	<b>Levensloop-bestendig</b>	<b>totaal</b>
Uniform Europees classificatiesysteem voor niet of laag emitterende bouwmaterialen	0	1	1	0	0	1	1	4
Isolatiematerialen droog houden	1	1	1	0	0	0	0	3
Voorkomen van pyrolyse van in elektrische apparatuur geaccumuleerd stof	0	1	1	0	0	0	0	2
Temperatuur constructiemateriaal beheersen	0	1	1	0	0	0	-1	1
Zelfherstellende sealings/coatings bouwmaterialen	0	0	1	0	0	0	0	1
Gasfiltratie toepassen (out of the box)	-1	0	1	1	0	-1	1	1
Extra verdunningsventilatie toepassen	-1	0	1	0	0	-1	0	-1
Hobbyactiviteiten in speciale hobbykamer	-1	1	1	-1	0	0	-1	-1
Afgezogen behang	-1	1	0	-1	-1	0	0	-2
Wetgeving, richtlijnen en waarschuwingslabels	-1	0	?	-1	-1	0	0	-3

Tabel 7 Bewonersgeïnduceerde verontreinigingen

maatregel	Aantrekkelijke kosten	Intrinsiek veilig	Reductie	Bouw-vriendelijk	Maatschappelijk acceptabel	Duurzaam	Levensloop-bestendig	totaal
Verbeteren huidige ventilatiesystemen	0	1	2	1	1	1	1	7
Lage druk ventilatie	0	1	1	0	1	1	0	4
Hybride ventilatie	0	1	1	0	1	1	0	4
Zelf herstellende systemen	0	2	1	1	0	0	0	4
Verbeterde vraaggestuurde ventilatie	0	1	1	0	1	1	0	4
Ondersteuning gebruiker door actuele informatie en terugkoppeling	0	0	1	0	2	1	0	4
Ontwikkeling niet-vervuilende filterconcepten	0	2	?	0	1	0	0	3
Storingsvrije ventilatiesystemen	0	1	1	0	1	0	0	3
Loef-/lijzijde oplossingen bij natuurlijke toevoer	0	1	1	0	1	0	0	3
Zelf instellende systemen	0	1	1	1	0	0	0	3
Begrijpelijke terugkoppeling werking systeem (fail safe)	0	0	1	0	2	0	0	3
Opleveringskeuring, eventueel steekproefsgewijs	-1	1	1	-1	2	1	0	3
Eindgebruiker centraal in ontwerpproces	0	1	1	0	1	0	0	3
Out-of- the-box oplossingen voor luchtreiniging	?	1	?	1	0	-1	1	2
Lokaal toevoeren	0	1	2	-1	0	1	-1	2
Prestatie-eisen in verschillende kwaliteitsklassen	0	0	1	0	1	0	0	2
Claimcultuur naar woningbouw	?	1	1	0	0	0	0	2
Bevorderen particulier opdrachtgeverschap	0	0	0	0	2	0	0	2
Fundamenteel onderzoek menselijke effluenten	0	1	?	0	0	0	0	1
Kwaliteitseisen voor installateurs, certificering	-1	1	1	0	0	0	0	1
Innovatieklimaat verbeteren	0	0	0	1	0	0	0	1



## 7 Innovatieagenda binnenmilieu

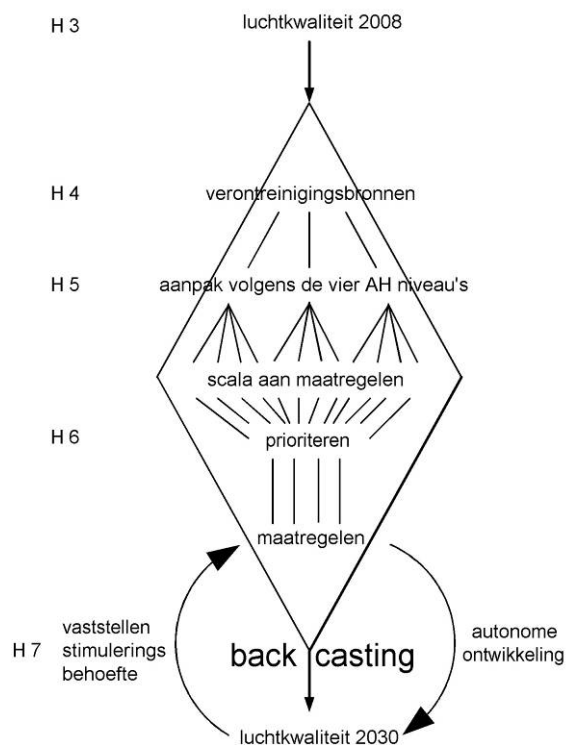
### 7.1 Aanpak

In de maatregelen, zoals in de voorgaande selectietabellen weergegeven, is een clustering aangebracht. Het doel hiervan is een verdere indikking, door maatregelen bijeen te brengen die verbeteringen op eenzelfde terrein beogen.

Tevens is met behulp van de back casting<sup>1</sup> methode (Figuur 13) vastgesteld binnen welke termijnen deze maatregelen(clusters) dienen te worden doorgevoerd om uiterlijk in 2030 de luchtkwaliteit in nagenoeg alle Nederlandse woningen in orde te hebben. Dit is namelijk de doelstelling voor de innovatieagenda.

De clusters zijn gesorteerd naar deze onderzoekstermijnen en hun haalbaarheid. Binnen deze rangschikking zijn vervolgens gemeenschappelijke innovatierichtingen vastgesteld. Hierop wordt een (voorstel voor een) innovatieagenda gebaseerd.

Daarmee geeft dit onderzoek een kader. Er wordt aanbevolen om de detailinvulling, op niveau van individuele maatregelen, in een vervolgtraject door experts op de verschillende deelgebieden te laten uitvoeren.



Figuur 13 Principe van back casting

<sup>1</sup> Volgens Wikipedia is back casting: "een methode die in de toekomst gewenste condities beschouwt en stappen definieert om deze condities te bereiken, in plaats van stappen te nemen die vooral een continuering van de huidige methodes zijn, geëxtrapoleerd naar de toekomst".

## 7.2 Clustering

In de maatregelen, zoals in de selectietabellen van hoofdstuk 6 weergegeven, is een clustering aangebracht. De aangehouden clustering is:

- A. Emissie en verspreiding rookgassen beheersen;
- B. Emissie voertuigen beperken;
- C. Reinheid / reiniging toevoer- en ruimtelucht;
- D. Emissie(stromen) uit / door bouwschil beheersen;
- E. Ventilatiesturing op vraag, aanbod en gebouweigenschappen;
- F. Efficiënte lokale ventilatie;
- G. Verbeteren van persoonlijk gedrag;
- H. Kwaliteit borgen;
- I. Overige emissies beperken (apparaten, industrie).

Voorts zijn de maatregelen in drie tijdstermijnen onderverdeeld:

1. Korte termijn.  
Dit betreft maatregelen die technisch zijn uitontwikkeld en binnen 5 jaar kunnen worden ingezet. Normaliter is dit al in lopend beleid aan de orde;
2. Middellange termijn.  
Hier gaat het om maatregelen die over 5 tot 10 jaar kunnen worden ingezet. Voor deze maatregelen is toegepast onderzoek nodig, dat in de komende beleidsplannen moet worden opgenomen;
3. Lange termijn.  
Voor deze maatregelen is nog fundamenteel onderzoek nodig. De tijdshorizon is circa 10 tot 20 jaar. Beleidsmatig past dit in de lange termijn programma's.

Achtereenvolgens gesorteerd naar cluster, termijn en haalbaarheidsscore ontstaat de volgende groslijst.

Tabel 8 Sortering van maatregelen

Maatregel	cluster	termijn	score
Beperkingen opleggen aan open haarden	A	k	5
Schoon brandende kaarsen, productkeur	A	k	3
Gesloten verbrandingstoestellen toepassen	A	k	3
CO-sensoren verplichten bij open verbrandingstoestellen	A	k	3
Beperkingen opleggen aan afvoerloze geisers en sfeerverwarmingstoestellen	A	k	2
100% trekkende open haarden	A	m	0
Emissiereducerende maatregelen voor open haarden (intern)	A	m	-1
Emissiereducerende maatregelen voor open haarden (extern)	A	m	-6
Verkeersstroomregeling	B	k	4
Verbeterde uitlaatgasfilters op auto's	B	k	3
Wegen, kruispunten en tunnels beter ventileren	B	k	-1
Elektrische auto's	B	m	3
Recuperatief remmen (vermijden remstof)	B	m	2
Betere filtratie op luchttoevoer van ventilatiesysteem	C	k	3
Ontwikkeling niet-vervuilende filterconcepten	C	m	3
Absorberend/reactief/depositie materialen in gebouwschil	C	l	2
Filtrerende isolatiematerialen	C	l	2
Lage druk filtratie voor natuurlijke toevoorzorgingen	C	l	2
Out-of- the-box oplossingen voor luchtreiniging	C	l	2

Gasfiltratie toepassen (out of the box)	C	l	1
Fundamenteel onderzoek reductie menselijke effluenten	C	l	1
EU classificatiesysteem voor emissie bouwmaterialen	D	k	4
Isolatiematerialen droog houden	D	k	3
Toepassen van balansventilatie om onderdruk te voorkomen	D	k	-2
Drukdeelring	D	m	4
Luchtdichting gebouwschil	D	m	3
Luchtdichting BG-vloer (vochttransport kruipruimte blokkeren)	D	m	2
Overdruk in woning	D	m	1
Beperken buffering in constructie	D	m	1
Temperatuurbeheersing constructiematerialen	D	m	1
Afgezogen behang	D	m	-2
Garantie kwaliteit toevoerlucht uit naden en kieren	D	l	1
Zelfherstellende sealings/coatings op bouwmaterialen	D	l	1
Hybride ventilatie	E	m	4
Verbeterde vraaggestuurde ventilatie	E	m	4
Oplossingen voor loef- / lijzijde probleem bij natuurlijke toevoer	E	m	3
Zelf instellende systemen	E	m	3
Vraaggestuurde ventilatie per vertrek	E	m	2
Seizoensafhankelijke ventilatie en (bij)verwarming	E	m	2
Buitenluchtkwaliteit-afhankelijk (OAQ-control) luchten	E	m	-2
Automatische inschakeling afzuigkap tijdens koken	F	k	3
Keurmerk hoogefficiënte afvoer vochtproducerende apparaten	F	k	2
Elektrisch koken en elektrische warm tapwaterbereiding	F	k	2
Koken met gesloten deksels	F	k	1
Hobbyactiviteiten in speciale hobbykamer	F	k	-1
Geen open keukens	F	k	-4
douchecabine met efficiëntere ventilatie	F	m	4
Matrasafzuiging	F	m	3
Koken met 100% effectieve lokale afvoer, vlam en bakgassen	F	m	3
Efficiënte kookafzuiging (afzuigkap, pan- en ovenafzuiging)	F	m	2
Afzuiging op oven	F	m	2
Lokaal toevoeren (via hoofdkussen, via hoofdsteun in zithoek)	F	m	2
Effectiever ventileren	F	m	1
Speciale droogkast voor wasgoed	F	m	0
Verhoogde doucheventilatie	F	m	-3
Ontwerpproces waarbij de eindgebruiker centraal staat	G	k	3
Beperken nat afsoppen/dweilen	G	k	3
Wasgoed buiten drogen	G	k	0
Niet thuis wassen/drogen	G	k	0
Geen planten	G	k	0
Lage-druk ventilatie	G	m	4
Ondersteuning gebruiker door actuele informatie en terugkoppeling	G	m	4
Begrijpelijke terugkoppeling werking systeem (fail safe)	G	m	3
Opleveringskeuring, eventueel steekproefsgewijs	H	k	3
Prestatie-eisen in verschillende kwaliteitsklassen	H	k	2
Translatie claimcultuur van utiliteit naar woningbouw	H	k	2
Bevorderen particulier opdrachtgeverschap	H	k	2
Kwaliteitseisen voor installateurs, certificering	H	k	1

Innovatieklimaat verbeteren	H	k	1
Extra verdunningsventilatie toepassen	H	k	-1
Wetgeving, richtlijnen en waarschuwingslabels	H	k	-3
Verbeteren huidige ventilatiesystemen	H	m	7
Zelf herstellende systemen	H	m	4
Storingsvrije ventilatiesystemen	H	m	3
Diffuse industriële bronnen aanpakken	I	k	2
Voorkomen pyrolyse van stof in elektrische apparatuur	I	m	2

### 7.3 Hoofdpijnen

Bij het overzien van de groslijst, kunnen per cluster de volgende conclusies worden getrokken.

#### A. Emissie en verspreiding rookgassen beheersen.

Het merendeel van de maatregelen hiervoor betreft implementatie van bestaande technologie en betere reglementering. Voor zover al niet opgenomen in het lopende beleid, kan invoering op korte termijn in gang worden gezet.

Door toegepast onderzoek kunnen voorts verbeterde maatregelen voor verzekerde trek en verminderde emissie worden ontwikkeld. De haalbaarheid van deze maatregelen wordt vooralsnog beperkt geacht.

#### B. Emissie voertuigen beperken.

De maatregelen in deze categorie liggen vooral binnen het domein van Verkeer & Waterstaat. Een deel van de maatregelen is met bestaande technieken op korte termijn te realiseren. Gezien het internationale karakter van het transport zal hierbij de inbedding in de Europese regelgeving een rol van belang spelen.

Ontwikkelingen op middellange termijn in elektrisch vervoer en het terugwinnen van remenergie dienen, voor zover ze al niet op de agenda staan, te worden gestimuleerd.

#### C. Reinheid / reiniging toevoer- en ruimtelucht.

In deze categorie valt het grote aantal maatregelen op dat fundamentele onderbouwing vergt en derhalve een langere termijn van invoering kent. Aandacht voor luchtreinheid ten behoeve van gebruikers is duidelijk een achterstandsgebied, dat gezien het belang krachtige impulsen vergt.

Door middel van toegepast onderzoek zijn interessante concepten op middellange termijn te realiseren.

#### D. Emissie(stromen) uit / door bouwschil beheersen.

In deze categorie valt het aantal maatregelen op dat toegepast onderzoek vergt om een echte stap voorwaarts te maken. Het belang van het terugdringen van onbeheerste stromen over de schil en de daarmee gepaard gaande emissies zal de komende tijd alleen nog maar gaan toenemen, vanwege energiebesparende maatregelen zoals isolatie, luchtdichting en vraagsturing van de ventilatie. Daarom is het van belang dat op dit punt tijdig wordt bijgestuurd, c.q. hiervoor meer aandacht komt bij de ontwikkelaars.

#### E. Ventilatiesturing op vraag, aanbod en gebouwweigenschappen.

Ook in deze groep valt het accent op voor de middellange termijn. Van een deel van de genoemde maatregelen is bekend dat er al ontwikkelingen plaatsvinden, maar de focus

ligt dan op energiebesparing. Voor het verschuiven van de focus naar gezondheid is stimulatie van toegepast onderzoek zeker zinvol.

#### F. Efficiënte lokale ventilatie.

In deze categorie wordt een aantal maatregelen genoemd dat al direct op korte termijn kan worden ingevoerd.

Er is daarnaast een grote groep maatregelen die via toegepast onderzoek tot verbetering van het lokaal invangen en beheersen van verontreinigingen kan leiden. De verbeteringen die met een meer brongerichte aanpak kunnen worden bereikt, zijn in de industriële werkomgeving al aangetoond. Voor de woonomgeving is dit echter een onontgonnen gebied, waarvan de potentie door de toeleveranciers nog niet wordt herkend. Daarom wordt het belangrijk geacht dat deze principieel andere aanpak wordt gestimuleerd.

#### G. Persoonlijk gedrag verbeteren.

De eigen invloed van gebruikers op zowel bronnen, reductie als blootstelling is groot. Verbetering is daarom wenselijk.

De maatregelen hier vallen in wezen in twee subcategorieën. De ene probeert de gebruiker door voorlichting op andere gedachten te brengen; de andere wil de gebruiker ondersteuning bieden bij en stimuleren tot goed gedrag. De slaagkans van de eerste subcategorie is, zelfs met inzet van dwangmiddelen, veelal gering. Ons inziens is extra inzet gewenst op de tweede subcategorie. Deze steunt op een betere interactie tussen mens en (nieuwe) techniek. Begrijpelijk en ondersteunend zijn daarbij kernwoorden.

#### H. Kwaliteit borgen.

Bij problemen met de luchtkwaliteit hoort men te vaak dat het wel goed kan met de huidige systemen, maar dat het niet gebeurt. Daarom is een betere borging van de kwaliteit gewenst. Het accent moet van de papieren controle vooraf naar de controle op de uitvoering en van de uitvoerder, inclusief goede reclamemogelijkheden van de gebruiker. Het gros van de maatregelen die hiervoor worden genoemd, is op korte termijn in te voeren.

Toch moet worden voorkomen dat kwaliteit uitsluitend door 'politiewerk' kan worden gehandhaafd. Daarom wordt er gepleit voor een accent op het bevorderen van het kwaliteitsdenken bij aanbieders en uitvoerenden, maar vooral ook op het verkrijgen van intrinsieke kwaliteit van systemen. Er wordt aanbevolen de ontwikkeling van dergelijke systemen via toegepast onderzoek te bevorderen.

#### I. Overige emissies beperken (apparaten, industrie).

De maatregelen in deze restgroep spreken voor zich.

## **7.4 Voorstel voor een innovatieagenda**

De maatregelen die in hoofdlijnen zijn genoemd, kunnen worden vervat in de volgende accenten voor een innovatieagenda.

#### *Korte termijn (direct uitvoerbaar)*

Intensivering van lopend beleid ten aanzien van:

1. Voortgaande beperkingen opleggen aan de (emissies van) open verbranding;
2. Verkeersemissies terugdringen;
3. Voorlichting over het beperken en terugdringen van woonvocht.

Aanbevelingen voor nieuwe of uitgebreidere instrumenten:

4. Reglementeren van de reinheid van ventilatielucht (minimum eisen filtratie);
5. Emissieclassificatie voor bouwmaterialen;
6. Invoeren van een keurmerk voor de vangefficiëntie van lokale ventilatievoorzieningen;
7. Invoeren van een opleveringskeuring voor systemen die de gezondheid, in het bijzonder de luchtkwaliteit, beïnvloeden.

*Middellange termijn (toegepast onderzoek)*

Er wordt aanbevolen voor nieuwe en (vooral) bestaande bouw systeemontwikkelingen te stimuleren op het gebied van:

1. Intrinsiek reine en onderhoudsarme luchttoevoer;
2. Beheersen van stromen over en emissies uit de gebouwschil;
3. Omslag van ventilatiesturing op basis van gezondheid i.p.v. energie;
4. Directe, lokale beheersing van emissies;
5. Technische ondersteuning voor positieve gedragsbeïnvloeding;
6. Faalvrije installaties.

*Lange termijn (fundamenteel onderzoek)*

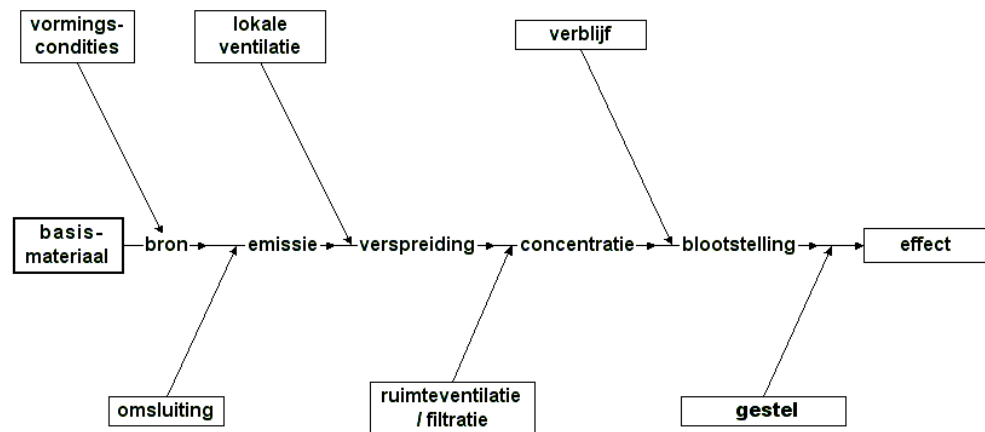
1. Systematische ontwikkeling van gezonde filtertechnieken, met accenten op lage druk, geen eigen kweek en eenvoudig, gering onderhoud;
2. Nadere onderbouwing van de ventilatiegrondslag.

## 8 Uitwerking in beleid

Om een goed beleid te kunnen voeren, dienen prioriteiten te worden gesteld. Er dient te worden ingezet op de maatregelen die de luchtkwaliteit het meest verbeteren, het breedst toepasbaar zijn en de grootste slaagkans hebben.

Figuur 14 toont de kerngrootheden die met elkaar de ervaren luchtkwaliteit bepalen. Verbetering van de luchtkwaliteit kan door ingrijpen op al deze grootheden, met een voorkeur voor maatregelen aan de ontstaanskant (meer links in de figuur). Bij de selectie in de hoofdstukken hiervoor en het samenstellen van een innovatieagenda is deze prioritering reeds doorgevoerd.

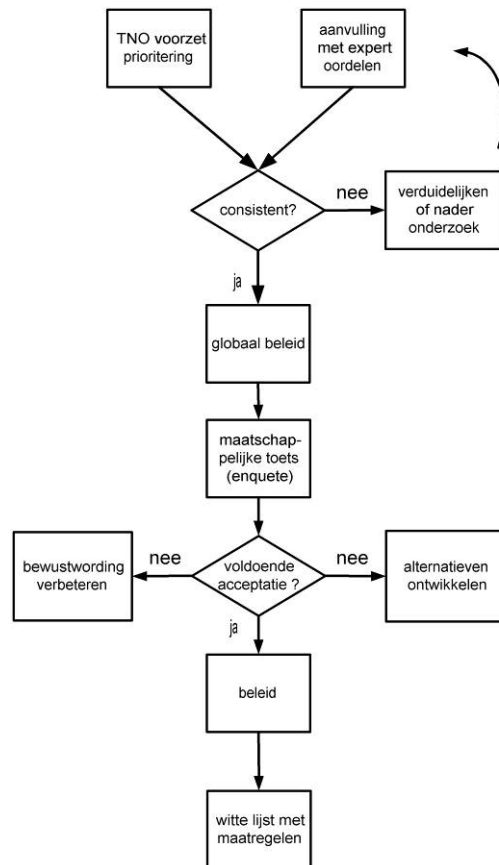
Anderzijds zijn maatregelen moeilijk op waarde te schatten, zonder kennis van hoe hun effecten op de gezondheid tot stand komen. Anders gezegd, van de hele trits en de onderlinge samenhang dient voldoende kennis te bestaan. Daarom zal het beleid zich op alle aspecten moeten richten, al kan dat in wisselende mate. Het accent zal op de ontwikkeling van de verbeteringen zelf moeten blijven liggen.



Figuur 14 Grootheden die met elkaar de ervaren luchtkwaliteit bepalen

Om hiermee goed om te gaan, stellen we het schematisch in Figuur 15 weergegeven stappenplan voor. Dit plan stelt voor de maatregelen door diverse experts te laten beoordelen, omdat de maatregelen een groot aantal kennisreinen bestrijken. Indien de verschillende beoordelingen met elkaar overeenkomen, kan dit tot globaal beleid worden vertaald. Vervolgens dient de maatschappelijke acceptatie te worden getoetst met enquêtes. Indien de enquêtes positieve resultaten geven, kan beleid worden geformuleerd.

Uit de enquêtes kan ook volgen dat er onvoldoende acceptatie is voor een maatregel. Soms ligt dit aan onvoldoende kennis bij bewoners en helpt een bewustwordingscampagne. In andere gevallen zullen alternatieven moeten worden gekozen of ontwikkeld.



Figuur 15 stappenplan voor beleidsontwikkeling

Om maatregelen zoveel mogelijk budgetneutraal te beoordelen, wordt voorgesteld om gebruik te maken van een zogenaamde witte lijst. Aanbieders kunnen op eigen kosten hun producten laten toetsen. Indien het product aan de eisen voldoet, komt het op een “witte” voorkeurslijst met maatregelen.



## 9 Literatuurlijst

Arbo themacahier Binnenmilieu, red. A. Boerstra, Sdu Uitgevers (ISBN 9012089786)

Arthur D Little, Environmental images for Dutch industry in 2030, 26 maart 2007 (<http://www.vrom.nl/pagina.html?id=2706&sp=2&dn=w941>)

Bluyssen P.M., Een schone en energie-efficiënte klimaatinstallatie, aanbevelingen en adviezen, TNO Bouw 2003.

Dongen A, J. van, Vos H., Actie 29, Gezondheidsaspecten van woningen in Nederland, TNO rapport 2007-D-R0188/A.

Envie, Co-ordination action on indoor air quality and health effects, Publishable final activity report, 10 februari 2009.

Gids, W.F. de en P.J.M. Op't Veld, Onderzoek naar ventilatie in relatie tot gezondheidsaspecten en energiegebruik voor een representatieve steekproef van het Nederlandse woningbestand. (Landelijke monitoring), Delft, TNO Bouw, rapport 2003-GGI-R064, februari 2004.

Cornelissen, H.J.M. en W.F. de Gids. Luchtdoorlatendheid van woningen. Bouwwereld nr 18, september 1996.

Gids, W.F. de, P.J.M. Op't Veld en Slot B.J.M., Sensorgestuurde ventilatie in woningen, TNO rapport 2005.

Gids, W.F., Kalkman A., Evaluatie van sensorgestuurde ventilatie in schoollokalen, TNO rapport 2006-D-R1077/B

Heide H. van der, Ventilatie en de relatie met comfort en EPC, ventilatiesystemen C en D nader bekeken, VV+, september 2006.

Jacobs P., Gids W.F. de, "Individual and collective climate control in aircraft cabins", International Journal of Vehicle Design, Juli 2006.

Nielsen P.V., Jiang H., Polak M., Bed with integrated personalized ventilation for minimizing cross infection, 10<sup>th</sup> international conference on air distribution in rooms, Helsinki 2007.

## 10 Ondertekening

Delft, 17 juli 2009

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized 'P' followed by 'Jacobs' and a long horizontal stroke extending to the right.

Ir. P. Jacobs  
Auteur

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized 'W' followed by 'A. Borsboom' and a long horizontal stroke extending to the right.

Ir. W.A. Borsboom  
Hoofd afdeling Energie, Comfort en Binnenmilieu

## A Maatregelen bouwmaterialen

### A.1 Classificatiesysteem voor primaire emissies

Product gerelateerde maatregelen kunnen op verschillende niveaus worden ingestoken. Vanuit de regelgeving optiek zouden eisen aan emissies van producten een mogelijkheid zijn om een reductie van emissies af te dwingen. Vanuit de producent gezien, zou het voorkomen van schadelijke emissies door het vervangen van (grond)stoffen of door het afschermen van het product kunnen worden bereikt. Beiden hebben echter behoefte aan een eenduidige test die de emissies van het product kunnen meten voordat deze worden geëvalueerd op schadelijkheid voor gezondheid. Deze evaluatie zou kunnen leiden tot een classificatiesysteem voor bouwproducten die voor:

- Zowel voor de consument (eindgebruiker) als de architect kan dienen om emissiearme producten uit te kiezen (net als bij energiezuinige producten)
- Voor de bouwproductproducent kan dienen als stimulans om het product te verbeteren (hogere klasse) of om te zorgen dat het product in heel Europa op dezelfde manier wordt getoetst (waarbij de klasse indeling nationaal nog kan verschillen doordat bijvoorbeeld de soort stoffen of de grenswaarden van stoffen verschillen)

Deze maatregel is sterk gerelateerd aan:

- De huidige ontwikkeling van een geharmoniseerde teststandaard voor het bepalen van emissies van bouwproducten aan de binnenlucht door CEN TC351 in het kader van de CPD (Construction Product Directive) (EU, 2005).
- De intentie die is uitgesproken tijdens de workshop 'Bouwproducten en binnenmilieu' georganiseerd (4-5 juni 2007 in Berlijn) (onderdeel van Europees Actieprogramma Binnenmilieu) om vier huidige beoordelingssystemen van emissie van bouwproducten op elkaar af te stemmen en wellicht tot 1 systeem te maken.

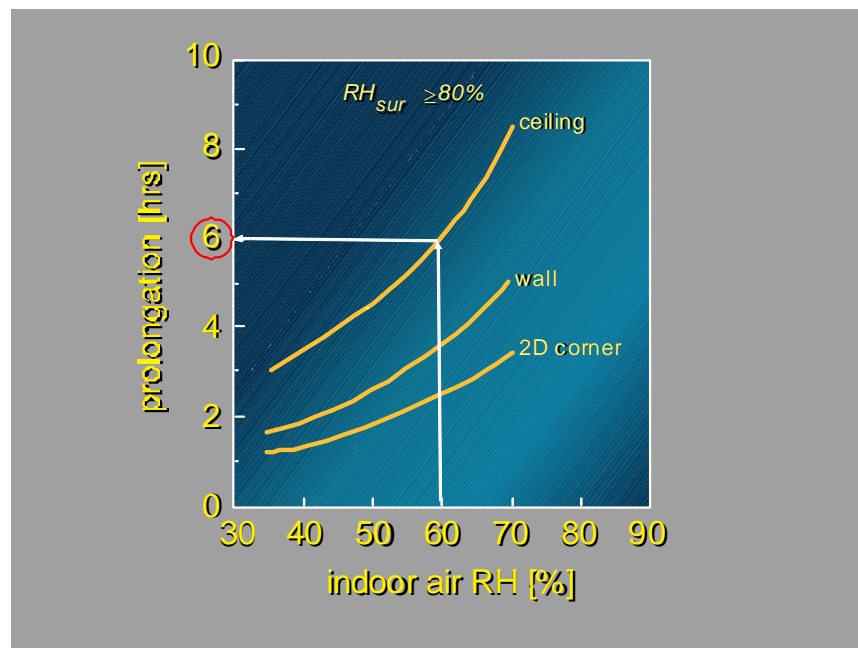
In het Europese project HealthyAir deels gesponsord door DG Sanco en VROM, die als doelstelling heeft het ontwikkelen van een manier om de drie doelgroepen architecten, bouwproducenten en eindgebruikers op een voor hen acceptabele manier te voorzien van informatie of gereedschappen die de blootstelling aan emissies van schadelijke stoffen door bouwproducten vermindert, wordt nu aan de hand van interviews uitgezocht of een dergelijke maatregel (1 Europees classificatiesysteem voor bouwproducten) inderdaad als een mogelijke oplossing wordt gezien door de drie doelgroepen. Resultaat wordt verwacht eind 2008.

### A.2 Schimmelgevoeligheid: testen en voorkomen

Groei van schimmels op afwerkmaterialen, zoals coatings, transparante lakken, kitten, lijmen, pleisters, spack, behang, vloerbedekkingsmaterialen en diverse plaatmaterialen, kan een probleem zijn. Schimmels kunnen stoffen afgeven die allergische en andere gezondheidseffecten teweegbrengen, zoals luchtwegproblemen, maar ook moeheid en hoofdpijn. Het is bekend dat schimmels praktisch op elk organisch materiaal kunnen groeien mits er voldoende water is (en niet per se vloeibaar water!). De schikbaarheid van water in de binnenlucht of in bouwproducten wordt beïnvloedt door de thermische prestatie van het gebouwomhulsel, ventilatie en *materiaal karakteristieken*. Dit laatste

is de voornaamste reden voor schimmelgroei (IUMS, 2005; Adan, 1994). *Dus de stoffen van het materiaal en de vocht/water retentie eigenschappen van een product bepalen het risico voor schimmelgroei.*

- Materiaal stoffen: Als een product uit organische stoffen bestaat is het risico voor schimmelgroei hoger dan voor inerte materialen. Het gebruik van eco-vriendelijke producten heeft dus geleid tot een verhoogd risico voor groei (bijvoorbeeld het gebruik van watergebaseerde verf in plaats van op olie gebaseerde verf). Organisch vuil op een inert materiaal kan eveneens het risico verhogen, wat de schoonmaakbaarheid van een product eveneens tot een belangrijke eigenschap maakt.
- Vochtretentie: In badkamers en keukens kan in een korte tijd veel waterdamp worden geproduceerd. Deze waterdamp condenseert op de wanden en wordt vastgehouden op of in de oppervlaktelaag. Een hoog ventilatievoud kan deze oppervlaktebevochtiging en opslag niet voorkomen. Het materiaal zal daarom meestal voldoende vocht bevatten voor groei tot de volgende douche. Zelfs wanneer de gemiddelde relatieve vochtigheid van de lucht in de badkamer laag is, dan zal het vastgehouden vocht door het oppervlak voldoende zijn op condities te creëren die schimmelgroei bevorderen.



Figuur 16 De relatieve vochtigheid in de binnenlucht versus de tijd dat de hoge relatieve vochtigheid (>80%) op het oppervlak in stand blijft als gevolg van een 10 minuten durende douche.

T.a.v. schimmelgevoeligheid van materialen is er al de wens uitgesproken om de nationaal voorhanden zijnde methode op Europees niveau te standaardiseren. In het laatste decennium is bij TNO een methode ontwikkeld voor beoordeling van de zogeheten schimmelgevoeligheid van materialen in het binnenmilieu. Definitie van schimmelgevoeligheid in de huidige opzet is gebaseerd op 10-jaar ervaring met een breed scala aan bouwproducten. In afwijking van bestaande richtlijnen richt deze methode zich op een breed toepassingsgebied van afwerkmaterialen onder diverse binnenmilieu condities. Bovendien resulteert deze nieuwe methode in een hoge reproduceerbaarheid, een zeer onderscheidend vermogen en veel sneller oordeel.

Courante methoden doen een indicatieve uitspraak na een periode van 3 maanden, terwijl deze methode veelal na 2-4 weken een onderscheidend beeld geeft.

Het voorkomen van schimmelgroei op materialen die daar gevoelig voor zijn, kan worden bewerkstelligd door het verhogen van de weerstand tegen een schimmelaanval. Dit wordt op het moment gedaan met het aanbrengen van verven of lakken die biocides bevatten. Omdat de huidige biocides een relatief korte werking hebben (max. 1-2 jaar), wordt er onderzoek verricht om biociden in te kapselen, zodanig dat ze alleen vrijkomen wanneer een schimmel aanwezig is. Het kapsel breekt dan en heel langzaam komen de biocides vrij. Daarnaast wordt er onderzoek gedaan naar vervanging van de huidige gebruikte biocides i.v.m. Europese Biocide Product Directive BPD, (EU, 1998).

### **A.3 Indoor chemistry**

Reacties tussen stoffen in de lucht en op een oppervlak kunnen de binnenluchtkwaliteit beïnvloeden (Weschler, 2004). Emissies van producten kunnen significant veranderen door oppervlaktechemie, en de producten van dergelijke reacties kunnen de lange duur emissie domineren. De mix van stoffen in de binnenlucht kan worden omgezet door chemische reacties, welke de oorzaak zijn van korte, zeer reactiegevoelige stoffen. Volgens Weschler, domineren hierin reacties tussen ozon (in ventilatielucht) en terpenen (zoals limoneen,  $\alpha$ -pineen, styreen) aanwezig in de binnenlucht. Hydroxyl radicalen ( $\text{OH}\cdot$ ) worden bij deze reacties gevormd, die op hun beurt reageren met andere stoffen en geoxideerde producten vormen. De binnenlucht condities, zoals relatieve vochtigheid en concentratie van vluchtige organische stoffen (VOS), beïnvloeden deze reacties in een nog niet te voorspellen manier. Ozon reacties, hydroxyl radicalen reacties, maar ook andere radicaal reacties (bijvoorbeeld nitraat radicaal  $\text{NO}_3\cdot$ ) komen ook voor in de binnenlucht. De secundaire producten die worden gevormd bestaan uit formaldehyde, aldehyden en  $\text{NO}_2$ . De concentraties van vrije radicalen zijn niet bekend en zijn nodig om binnenlucht chemie modellering vooruit te helpen.

### **A.4 Referenties**

Adan, O.C.G., 1994, ON the fungal defacement of interior finishes, doctoral thesis, Technical university of Eindhoven.

Adan, O.C.G. and Bluysen, P.M., 2004, (Ver)huren in de nabije toekomst: verkennende studie naar toepassingsmogelijkheden van ruimtevaarttechnologie voor innovatie van wonen in de context van energie, TNO-rapport

ASHRAE, 1991, ASHRAE Handbook - HVAC Applications, chpt.40, Control of gaseous contaminants of indoor air.

ASHRAE, 1992, ASHRAE Handbook - HVAC Systems and Equipment, chpt.25, Air Cleaners for particulate contaminants.

ASHRAE, 2007, HVAC applications, CD,-rom, Atlanta, GA, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

Blanchard, B.S., 2004, System engineering management, third edition, John Wiley & Sons, Inc., ISBN 0-471-29176-5.

Bluyssen, P.M., 2004 A clean and energy-efficient heating, ventilating and air-conditioning system, Recommendations and Advice, February 2004, TNO, The Netherlands, ISBN 90-5986-009-8.

Bluyssen, 2007, HealthyAir, working programme, TNO, Delft.

Bluyssen, 2008a, Bluyssen, 2008, Handbook for managing the indoor environment: towards an interactive and sustainable top-down approach (in press).

Bluyssen, P.M., 2008b, Management of the indoor environment, an interactive top-down approach, submitted to Indoor Air conference.

Bluyssen, P.M., 2008c, On the history of indoor environment quality: from component related to a top-down approach, submitted to Indoor Air conference.

DIBT, 2005, Principles for health assessment of construction products used in interiors, Notification n°2005/255/D.

EU, 2005, Mandate 366, Development of horizontal standardised assessment methods for harmonised approaches relating to dangerous substances under the construction product directive (CPD), Emission to indoor air, soil, surface water and ground water.

EU, 1998, European Parliament and Council Biocidal Products Directive 98/8/EEC.  
Hodgson, A.T., Desailats, H., Sullivan, D.P., Fisk, W.J., 2007, Performance of ultraviolet oxidation for indoor air cleaning applications, Indoor Air, 17, pp.305-316

IUMS, 2005, International Union of Microbiological Sciences, International Commission on Indoor Fungi, Statements and recommendations from the second international workshop on fungi in indoor environments: towards strategies for living in healthy buildings, Utrecht, The Netherlands, 17-19 March.

Sloot, van der, Bluyssen, P.M. et al., Draft TR2 report Report Impact Soil & Groundwater and Indoor Air, Evaluation of a horizontal approach to assess the possible release of dangerous substances from construction products in support of requirements from the construction products directive.

JRC, 2005, The Index report, Final report, 2005, EUR 21590 EN.

Weichenthal, S., Dufresne, A., Infante-Rivard, C., 2007, Indoor ultrafine particles and childhood asthma – exploring a potential public health concern, Indoor Air, vol.17, no.2, pp.81-91.

Weschler, C.J., Chemical reactions among indoor pollutants: what we've learned in the new millennium, Indoor Air, 2004, 14 (Suppl 7), pp.184-194.

WHO, 2006c, Air quality guidelines, global update 2005, Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulphur dioxide, ISBN 92 890 2192 6, WHO Regional office for Europe, Denmark.

## B Out of the box maatregelen

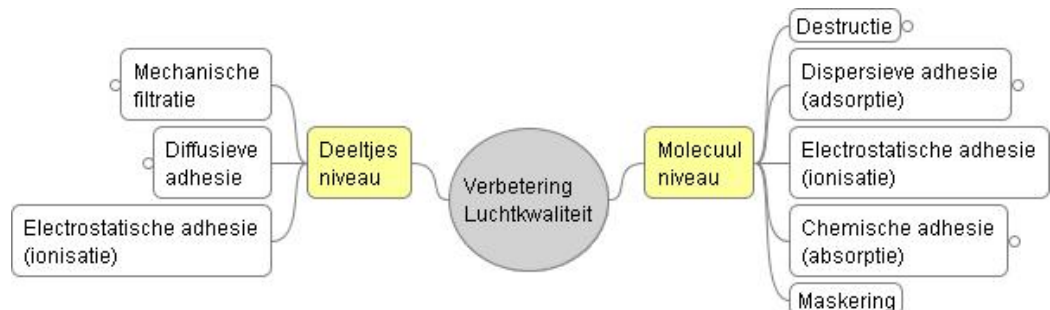
### B.1 Inleiding

Over het algemeen worden er drie methoden gesuggereerd om de binnenluchtkwaliteit te verbeteren, namelijk ‘bronaanpak’, ‘ventilatie’ en ‘luchtreiniging’. Aanpak van de buitenbron is vaak oncontroleerbaar en moeilijk te beïnvloeden. Extra ventilatie kan in sommige gevallen juist voor meer vervuiling vanuit het buitenmilieu naar het binnenmilieu veroorzaken. In dergelijke gevallen kan daarom aanpak van de binnenbron samen met luchtreiniging een redelijke optie zijn om de binnenluchtkwaliteit te verbeteren.

### B.2 Methoden en technieken voor verwijdering op deeltjesniveau

Kwaliteitsverbetering van de binnenlucht kan op verschillende manieren gebeuren. De vervuiling kan aan een andere stof worden gebonden (adsorptie) of er totaal in worden opgenomen (absorptie). De vervuiling kan worden afgedekt of totaal vernietigd. Of worden verdoezeld met een stof met meer overheersende eigenschappen (bijvoorbeeld sterkere geurontwikkeling).

Aan de hand van verschillende mechanismen en fysische/chemische principes worden bestaande, in ontwikkeling zijnde en eventueel toekomstige mogelijkheden voor het verwijderen van verontreinigingen beschreven.



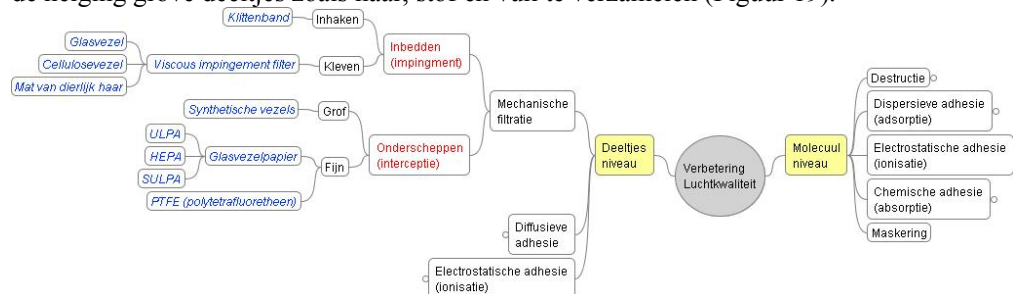
Figuur 17 Schematische weergave van mechanismen die een rol spelen bij de verbetering van luchtkwaliteit

#### B.2.1 Mechanische filtratie

Bij mechanische filtratie worden de deeltjes uit het omhullende medium (lucht of water) ‘getrokken’ door middel van een obstructie in het filtermedium. Materialen die een mechanische adhesie verbinding vormen vullen hun holtes en poriën met andere stoffen op een manier die het beste te vergelijken is met het principe van puzzelstukjes. Het feit dat verse buitenlucht door een vuil filter wordt getransporteerd is vragen om problemen. Het ontwikkelen van nieuwe filterprincipes die dit nadeel niet of veel minder hebben is absoluut noodzakelijk.

### Mechanismen

Figuur 18 geeft een overzicht van mechanismen van mechanische filtratie. Een voorbeeld van een mechanische adhesie binding is ‘klittenband’ waarbij de haakjes van het ene materiaal haken in de oogjes van het andere materiaal. Klittenband heeft de neiging grove deeltjes zoals haar, stof en vuil te verzamelen (Figuur 19).



Figuur 18 Schematische weergave van mechanische filtratie mechanismen en materialen



Figuur 19 Mechanische adhesie door middel van klittenband (inclusief vuil/stofverzameling)

Impingement (in het Engels ‘impaction’), van Latijnse impingere (binnendringen, inbedden), is het proces waarbij grotere deeltjes niet in staat zijn vezels te vermijden wanneer ze de contouren van de luchtstroom volgen en gedwongen worden om in een van de vezels in te bedden (Figuur 20). **Viscous impingement filters** worden gebruikt voor luchtzuivering waarbij gebruik gemaakt wordt van een oppervlak dat bedekt is met een kleverige olie of vloeistof. Vuildeeltjes en andere door de lucht overgedragen onzuiverheden blijven kleven wanneer de lucht erdoorheen wordt geleid. De wegwerpfilters bestaan uit glasvezel, cellulosevezel of matten van dierlijk haar, opgezet op goedkope kartonnen frames.

Interceptie (onderschepping) is het mechanisme waarbij deeltjes die een luchtstroom volgen, binnen een straallengte van een vezel komen en eraan blijven hangen. Filters met grove vezels vangen deeltjes met een groter diameter af. Indien de vezels elektrostatisch geladen worden, wordt het rendement om ook kleinere deeltjes te filteren, verhoogd. Grote mediavezels worden meestal gemaakt van **synthetische vezels**. Filters met fijne vezels kunnen door middel van hun kleine diameter submicrondeeltjes zonder elektrostatische aantrekkingskracht filteren. Fijne vezels worden meestal gemaakt van **glasvezels** of **PTFE (polytetrafluoretheen)**.





Figuur 20 Vezels van grove en fijne filters (Camfill Farr, 2008)

“High Efficiency Particulate Air”(HEPA) filters (Figuur 21) zijn filters van glasvezelpapier die zodanig ontworpen zijn om zeer kleine deeltjes uit de lucht weg te vangen. HEPA filters bestaan uit een mat van willekeurig gerangschikte vezels. Onderdelen die de belangrijk zijn voor een goede werking van de filter zijn de vezeldichtheid, vezeldiameter en filterdikte. De luchtruimte tussen HEPA filtervezels is veel groter dan  $0.3 \mu\text{m}$ . Net zoals bij membraanfilters, kunnen deeltjes die net zo groot zijn als de grootste opening of de afstand tussen de vezels de filter op geen enkele manier passeren. Echter, de veronderstelling dat een filter HEPA als een zeef werkt, waarbij deeltjes kleiner dan het grootste opening wel kunnen passeren is onjuist. Al in 1961 werd een filter met een hogere effectiviteit dan een HEPA filter beschikbaar, de ULPA (Ultra Low Penetration Air) filter, met een minimum effectiviteit van 99.999% voor deeltjes. Tegenwoordig zijn SULPA (Super ULPA) filters beschikbaar. Deze filters hebben een efficiency van 99.9999% op de zelfde basis zoals filters ULPA.



Figuur 21 HEPA filter

### B.2.2 *Innovatie richtingen en onderzoeksvragen mechanische filtratie*

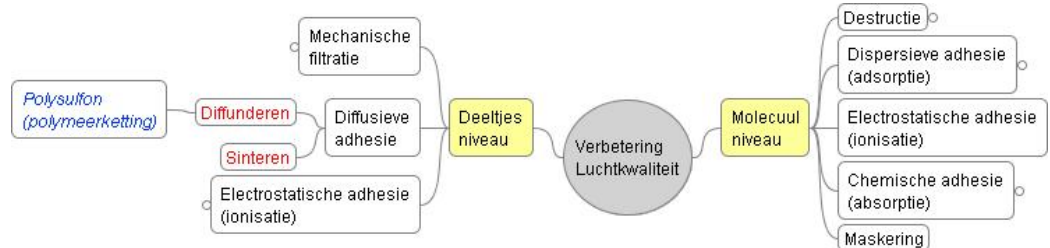
- Op welke wijze vormen filtermaterialen onder invloed van reactieve stoffen uit de buitenlucht zelf een verontreinigingbron?
- Het feit dat verse buitenlucht door een vuil filter wordt getransporteerd is vragen om problemen. Het ontwikkelen van nieuwe filterprincipes die dit nadeel niet of veel minder hebben is absoluut noodzakelijk.
- Hoe kan de onderhoudsfrequentie van filters worden verminderd?

### B.2.3 *Diffusieve adhesie*

Figuur 22 toont mechanismen van diffusieve adhesie. Sommige materialen kunnen bij de verbinding samenvoegen door middel van diffusie. Dit kan optreden wanneer

de moleculen van beide materialen beweeglijk en oplosbaar in elkaar zijn. Dit zou bijzonder efficiënt kunnen met polymeerkettingen als het ene eind van de molekuul in het andere materiaal diffundeert.

### Mechanismen



Figuur 22 Schematische weergave van diffuse adhesie mechanismen en materialen

Het diffusie mechanisme is ook betrokken bij **sinteren**. Wanneer metaal of een ceramische poeder wordt samengeperst en verwarmd, diffunderen atomen van het ene deeltje naar volgende. Op die manier groeien de contactpunten tussen de korrels, waardoor een zeer hard materiaal kan ontstaan.

**Polysulfon** is de naam van een groep thermoplastische polymeren, met als kenmerk de aanwezigheid van een sulfongroep (SO<sub>2</sub>) in de monomeergroepen die de polymeerketting vormen. Polysulfon wordt gebruikt bij membraanfiltratie (Figuur 23). Het principe is vrij eenvoudig: het membraan doet dienst als een zeer specifiek filter die de water- of luchtstroom doorlaat, terwijl het opgeloste vaste deeltjes en andere substanties worden weggevangen.



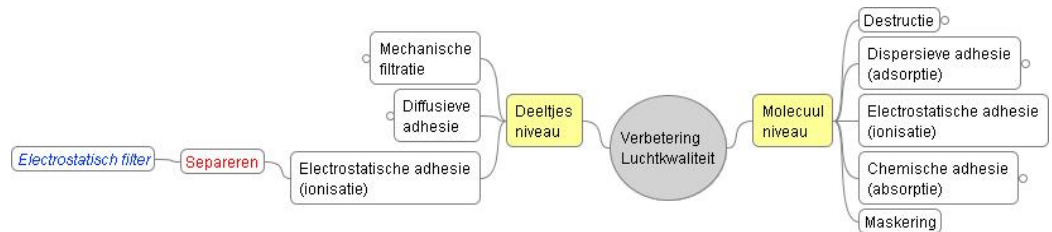
Figuur 23 Tube-in-tube polysulfon

### Innovatierichtingen

- Zelfreinigende dubbelwandige luchtkanalen waarbij de vervuilde lucht van verontreinigingen wordt ontdaan door middel van diffusie door de binnenwand.

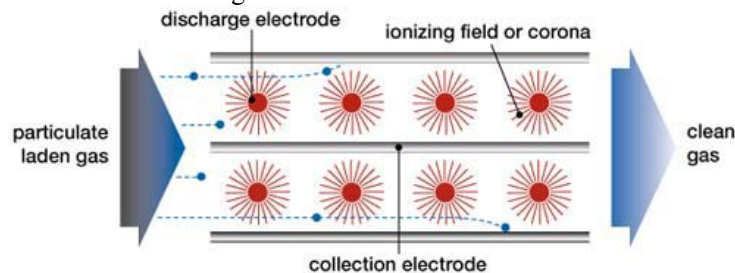
#### B.2.4 Elektrostatische adhesie (ionisatie)

Figuur 24 toont mechanismen van Electrostatische adhesie.



Figuur 24 Schematische weergave van elektrostatische adhesie voor deeltjesaf scheiding

Een **elektrostatisch precipitator** (ElectroStatic Precipitator, ESP) of elektrostatische luchtzuiveringstoestel is een verzamelapparaat dat deeltjes uit een stromend gas (zoals lucht) verwijdert door gebruik te maken van de kracht van een opgewekte elektrostatische lading in een elektrisch veld. Elektrostatische precipitatoren (Figuur 25) zijn efficiënte filtratieapparaten die de stroom van gassen door het apparaat minimaal belemmeren en ze kunnen gemakkelijk zeer kleine deeltjes zoals stof en rook uit de luchtstroom verwijderen (Mohr and Burtscher 1996). Dus een hoog filterrendement bij zeer lage drukval. Dit biedt mogelijkheden om luchtzuivering bij natuurlijke toevoorzieningen toe te passen. Hierbij mag de drukval over het filter niet meer dan 1 Pa bedragen.



Figuur 25 Schematisch diagram van een elektrostatische precipitator

#### *Innovatierichtingen en onderzoeksvragen elektrostatische adhesie*

- Ontwikkelen van hoogefficiënte luchtzuivering voor natuurlijke toevoorzieningen. Hierbij mag de drukval over het filter niet meer dan 1 Pa bedragen.

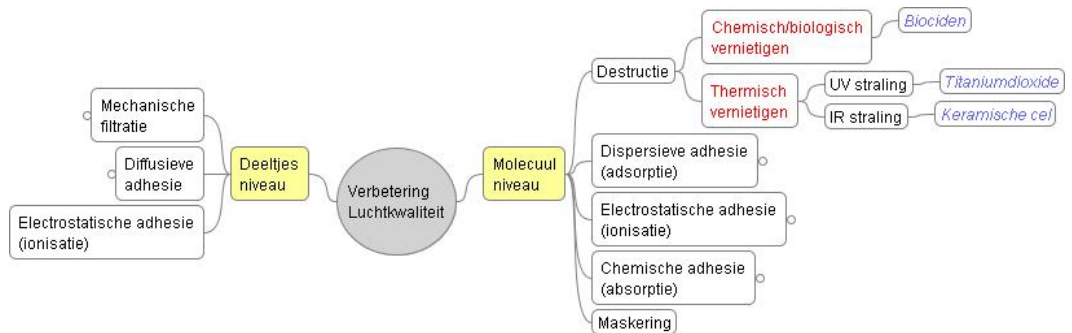
## B.3 Methoden en technieken voor verwijdering op molecuul niveau

### B.3.1 *Destructie*

Mechanismen die afbraak veroorzaken worden destructie mechanismen genoemd. In de landbouw en voedselverwerking wordt, in overeenstemming met Richtlijn 90/667/EEG destructie gedefinieerd als “de verwerking van hoog-risico materiaal”.

#### *Mechanismen*

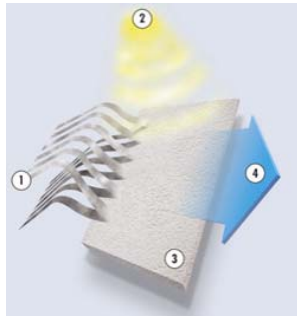
Figuur 26 toont mechanismen van destructie.



Figuur 26 Schematische weergave van destructie mechanismen en materialen

Een **biocide** is een werkzame stof of preparaat dat één of meer werkzame stoffen bevat, bestemd of aangewend om een schadelijk organisme te vernietigen, af te schrikken, onschadelijk te maken, de effecten daarvan te voorkomen of het op andere wijze langs chemische of biologische weg te bestrijden, niet zijnde een gewasbeschermingsmiddel (Wet gewasbeschermingsmiddelen en biociden 2007). Een milieuvriendelijk, veel componenten oxiderende biocide is bijvoorbeeld de (stabiele) combinatie van waterstofperoxide ( $H_2O_2$ ) en zilver ( $Ag$ ) ionen. Deze combinatie vormt een efficiënte zuiverende oplossing, die twintig keer zo krachtig is als waterstofperoxide alleen. Momenteel worden biocides toegepast in verven en lakken. Ze hebben echter een relatief korte werking. Momenteel worden bij TNO verbeterde afgiftemechanismen onderzocht, zie bijlage A, met als doel om alleen biocide vrij te laten komen indien schimmels aanwezig zijn.

Fotodegradatie is een thermisch destructie mechanisme voor luchtreiniging en gebeurt gewoonlijk bij kamertemperatuur en -druk. Momenteel is **titaniumdioxide** ( $TiO_2$ ) de belangrijkste en meest gebruikte katalysator voor de fotokatalytische reactie (o.a. (Uzunova-Bujnova; Todorovska; Dimitrov, and Todorovsky 2008). Fotokatalysatoren zijn stoffen die onder invloed van ultraviolet (UV) licht, de oxidatie van schadelijke stoffen in de lucht in onschadelijk  $CO_2$  en water kunnen katalyseren. Schadelijke stoffen en geuren worden niet geabsorbeerd maar vernietigd. Titaniumoxide wordt zowel in sierpleister als is in verf verwerkt waardoor de producten 'zelfreinigend' worden (Figuur 27). Tijdens de laatste Indoor Air conferentie in Kopenhagen (Indoor Air 2008) was een forum geweid aan de mogelijkheden van fotokatalytische oxidatie met  $TiO_2$ : "Challenges associated with heterogeneous Photocatalytic Oxidation (PCO) air-cleaning devices". Het bleek dat zeer goede resultaten zijn geboekt met de afbraak van bij industriële processen vrijkomende oplosmiddelen. Deze worden volledig tot  $CO_2$  en  $H_2O$  afgebroken. Echter bij de afbraak van de mens afkomstige geurstoffen treedt de vorming van het tussenproduct formaldehyde op. Hierdoor neemt de schadelijkheid van de betreffende lucht niet af, maar fors toe. Een van de uitdagingen voor het onderzoek is dan ook zoeken naar nieuwe soorten katalysatoren waarbij dit probleem niet optreedt.



Figuur 27 Reinigend sierpleister

In een **keramische cel** (Figuur 28) wordt onder een temperatuur tot 250°C lucht gesteriliseerd waarbij 99,99% van de micro-organismen worden vernietigd. Voornamelijk biologische verontreinigingen zoals pollen, schimmels, huisstofmijtallergenen, bacteriën, virussen en andere allergenen kunnen zo onschadelijk gemaakt worden. Een luchtreinigingsprincipe dat een dergelijk hoge temperatuur vraagt, is energetisch en praktisch (veiligheid) waarschijnlijk geen realistische optie.



Figuur 28 Keramische cel (incineration chamber)

#### *Innovatierichtingen en onderzoeksvragen destructie*

- Het ontwikkelen van afgiftemechanismen voor biocides, waarbij alleen biocide vrijkomt indien schimmels aanwezig zijn.
- Titaniumdioxide ( $\text{TiO}_2$ ) is de belangrijkste en meest gebruikte katalysator voor de fotokatalytische afbraak van organische componenten. Bij de afbraak van menselijke geurstoffen wordt echter formaldehyde gevormd. Onderzoek is gewenst naar nieuwe typen katalysatoren waarbij dit probleem niet optreedt.

#### *B.3.2 Dispersieve adhesie (adsorptie)*

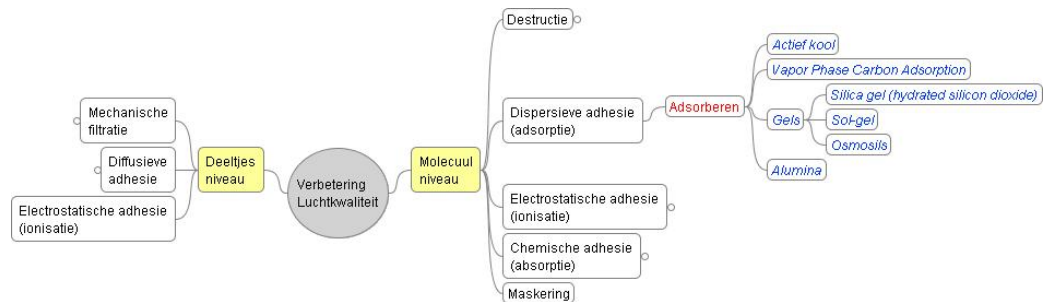
Bij dispersieve adhesie, beter bekend als adsorptie, worden twee materialen bijeengehouden als gevolg van de aantrekking tussen twee moleculen, waarbij elke molecuul gebieden met positieve en negatieve ladingen heeft.

Vaak wordt er een onderscheid gemaakt tussen twee hoofdvormen van adsorptie: fysische adsorptie (fysisorptie) en chemische adsorptie (chemisorptie). Fysisorptie is een omkeerbaar proces waarin een molecuul in contact komt met het oppervlak van de media en door mechanische kracht blijft vastzitten. Door energietoevoer, zoals verhitting, kunnen de moleculen losraken van het mediaoppervlak, desorptie. Op deze manier kunnen de media worden vernieuwd en opnieuw gebruikt. Gassen voor fysisorptie:  $\text{N}_2$ , Kr, Ar,  $\text{CO}_2$ , He. Chemisorptie is een onomkeerbaar proces. Chemisorptie wordt veroorzaakt door een chemische reactie tussen het oppervlak

van de media en de molecuul in de lucht die met het oppervlak in aanraking komt. Voor de chemische reactie moet het oppervlak op een bepaalde manier zijn behandeld; afhankelijk van het type molecuul dat moet worden gefilterd. Gassen voor chemisorptie: H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, lichte koolwaterstoffen. Het verschil tussen chemisorptie en fysisorptie is dat er bij chemisorptie een binding wordt gevormd (gemiddelde enthalpie = 400 kJ/mol), en bij fysisorptie de deeltjes alleen door zwakke Vanderwaalsbindingen bij elkaar blijven (gemiddelde enthalpie = 20 kJ/mol).

### Mechanismen

Figuur 29 toont mechanismen van dispersieve adhesie.



Figuur 29 Schematische weergave van dispersieve adhesie (adsorptie) mechanismen en materialen

De meest gebruikte (industriële) adsorbentia zijn geactiveerde koolstof, silica gel en alumina, vanwege hun enorme oppervlakten per eenheidsgewicht. **Geactiveerde koolstof** wordt geproduceerd door organisch materiaal (kokosnotenschillen, hout en bot zijn veelgebruikte bronnen) te verhitten om het te ontbinden in koolstofkorrels. Hoewel de geactiveerde koolstof een goed materiaal is voor adsorptie is, blijft de zwarte kleur behouden en is daardoor minder geschikt om direct in een bouw materiaal te verwerken. De methode waarbij geactiveerde koolstof, poreuze koolstof met een zeer groot intern oppervlak van 300 – 1500 m<sup>2</sup> per gram, wordt gebruikt om verontreinigingen te verwijderen uit lucht wordt **Vapor Phase Carbon Adsorption** genoemd. Actief kool kan na gebruik opnieuw actief worden gemaakt door thermische reactivatie. In de industrie worden meestal om een continu proces te verkrijgen twee bedden gebruikt, waarbij het ene bed wordt gereactiveerd en het andere bed de lucht zuivert. Na een tijdje worden de bedden gewisseld. In de gebouwde omgeving wordt actief kool vaak ingezet om sigarettengeur van rookcabines weg te filteren. De standtijd van actieve kool is moeilijk te bepalen, en wordt vaak op basis van ervaring gekozen. Bij mechanische deeltjes reiniging wordt vaak de drukval als indicator voor de belading van het filter genomen. Indicatoren voor de standtijd van actief kool filters zijn gewenst om te voorkomen dat filters veel te vroeg of veel te laat worden verwisseld.

Een coating kan een vaste stof zijn, maar bestaan ook in vloeibare varianten. Een vloeibare coating kan een zogenaamde ‘scavenger’ bevatten. Scavengers reageren chemisch met formaldehyde of bepaalde VOCs. **Silica gels** bieden een uitstekende oppervlakte voor de preconcentratie van diverse materialen, met inbegrip van metalen uit waterige systemen. Silica gel is een vorm van gehydrateerd siliciumdioxide. Chemische verandering van silica gels met de organische en

anorganische eenheden resulteert in verschillende soorten openingen die een grote verscheidenheid van materialen kunnen 'vangen'.

Een **sol-gel** (Uhlmann and Teowee 1998-) is een gelachtig materiaal vervaardigd uit anorganische stoffen. Sol-gels worden gebruikt bij de productie van onder meer (keramische) deklagen en deeltjes. Om een sol-gel te maken wordt bijvoorbeeld siliciumoxide eerst in een colloïdale suspensie gebracht. Vervolgens kan men de suspensiedeeltjes (monomeren of oligomeren) in de vloeistof aan elkaar laten hechten (polymeriseren) tot een netwerk; zo vormen ze een wet-gel (in solvent), aero-gel (solvent verdampt) of xero-gel (denser) (Uhlmann and Teowee 1998-).

**Osmosils** zijn organisch gemodificeerd silica (organically modified silica, osmosil). Deze nieuwe materialen zijn milieuvriendelijk, hebben een lange termijn werking en kunnen traditionele katalysators, in het bijzonder in vloeibare fase reacties, efficiënt vervangen (Dash; Mishra; Patel, and Bijay 2008). In een toepassing als beschermende coating beschermen osmosils niet alleen de materialen waarop zij aangebracht zijn, maar wijzigen soms het fotochemische gedrag van de materialen.

**Alumina** wordt ontgonnen en gevormd uit aluminiumoxide en hydroxide.

*Innovatierichtingen en onderzoeksvragen dispersieve adsorptie*

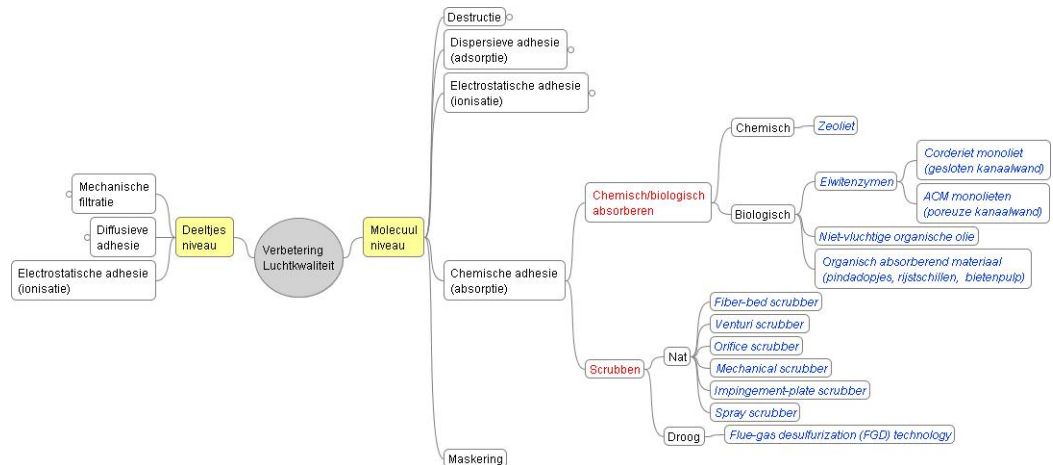
- Indicatoren voor de standtijd van actief kool filters zijn gewenst om te voorkomen dat filters veel te vroeg of juist veel te laat worden verwisseld.

**B.3.3** *Chemische adhesie (absorptie)*

Indien twee materialen samen een component vormen wordt die chemische adhesie genoemd. De ene stof wordt in een andere stof opgenomen en het proces is beter bekend als absorptie. De sterkste verbinding treedt op wanneer twee materialen hun buitenste elektronen uitwisselen (ionenbinding) of delen (covalente binding). Een zwakkere band wordt gevormd als zuurstof, stikstof of fluor atomen van de twee materialen een waterstofkern delen (waterstofbinding).

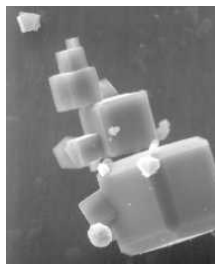
*Mechanismen*

Figuur 30 toont mechanismen van chemische adhesie.



Figuur 30 Schematische weergave van chemische adhesie mechanismen en materialen

**Zeolieten** behoren tot de aluminosilicaten en zijn opgebouwd uit verbindingen van zuurstof, silicium en aluminium. Zoals elk mineraal zijn zeolieten (Figuur 31) opgebouwd volgens een kristalrooster. Een dergelijk rooster is opgebouwd uit ionen, elektrisch geladen atomen die elkaar aantrekken. In de holtes kunnen kleine moleculen (zoals water) en ionen zitten. De ionen zijn vaak nodig om de negatief geladen structuur van Si, Al en O te compenseren. Verontreinigingen kunnen, met behulp van zeoliet als katalysator, uit de lucht worden verwijderd. Zeolieten worden op de markt gebracht in de vorm van kleine korrels. Er zijn natuurlijke en synthetische zeolieten. Momenteel worden zeolieten in luchtreinigers toegepast. Onder andere bestaat de combinatie met een corona ionisator die de ozon produceert (bron [www.consumer.philips.com](http://www.consumer.philips.com)). Volgens de fabrikant oxideert ozon de in het zeoliet filter opgevangen gassen. Op deze manier zou het zeoliet filter continu worden verversd en gaat het filter ten opzichte van actief koolfilters lang mee. Een ander voordeel wat wordt geclaimd ten opzichte van actief kool filters is dat zeolieten ook bij hoge relatieve vochtigheid hun werking behouden. Er wordt geen opgave gedaan van het ontstaan van eventuele tussenproducten. Onderzoek hiernaar is gewenst.



Figuur 31 Zeoliet

Bio-katalyse kan worden gedefinieerd als het gebruik van natuurlijke katalysators om chemische transformaties op organische samenstellingen uit te voeren. Meestal gaat het om eiwitten die in een lichaam geproduceerd worden: **enzymen**. Zowel



enzymen die min of meer geïsoleerd zijn en enzymen die nog in levende cellen zitten worden gebruikt voor dit proces. Recentelijk is de belangstelling voor biokatalyse als alternatief voor conventionele chemische processen sterk toegenomen. Enzymatische reactie verlopen snel en selectief, onder gematigde omstandigheden, vaak in water, in neutraal milieu. Enzymen zijn echter wel kwetsbaar zijn (bijvoorbeeld door temperatuur of zuurgraad). Normaal gesproken worden daarom geïmmobiliseerde enzymsystemen gebruikt. **Monolieten** zijn keramische materialen, bestaande uit langwerpige bundels van smalle kanaaltjes. Het blijkt goed mogelijk om (onder testomstandigheden) verschillende enzymen (omkeerbaar) op een monoliet oppervlak te immobiliseren, met behoud van activiteit: corderiet monolieten met een gesloten kanaalwand en ACM monolieten met een poreuze kanaalwand (Lathouder 2007).

Voor een zeer hoge mate van verwijdering van vluchtige organische samenstellingen (VOCs) uit gasstromen kunnen inerte **niet-vluchtige absorberende oliën** worden gebruikt (Poddart and Sirkar 1997). Silicone olie en minerale olie zijn twee absorbeermiddelen waarmee in een experimenteel proces aceton, methyleen chloride, toluen en methanol uit een VOC-stikstof (VOC-N<sub>2</sub>) gasmengsel werd geabsorbeerd (Poddart; Majumdar, and Sirkar 1996).

Ook kan gebruik worden gemaakt van organisch absorberend materiaal (pindadopjes, rijstschillen, bietenpulp) om op biologische wijze stoffen uit de lucht te absorberen met behulp van agrarische restproducten (Ramrez-Lopez E.; Corona-Hernandez J.; Dendooven L.; Rangel P., and Thalasso F. 2003).

**Air scrubbers**, wet scrubbers en gas scrubbers (Van Deuren; Lloyd; Chhetry; Liou, and Peck J. 2002) zijn luchtvervuiling controle apparaten die een hoge-energie vloeibare nevel gebruiken om aërosol en gasachtige verontreinigingen uit een luchtstroom te verwijderen. De gassen worden verwijderd door absorptie en/of chemische reactie. Naast damp en gasvermindering, kunnen scrubbers gebruikt worden voor het reinigen van proceslucht en stofinzameling. Er zijn verschillende natte typen scrubbers: fiber-bed, venturi, orifice, mechanical, impingement-plate en spray scrubbers. Er zijn ook droge scrubbers beschikbaar (flue-gas desulfurization technology, FGD), maar deze zijn vaak duurder.

#### *Innovatierichtingen en onderzoeksvragen chemische adhesie (absorptie)*

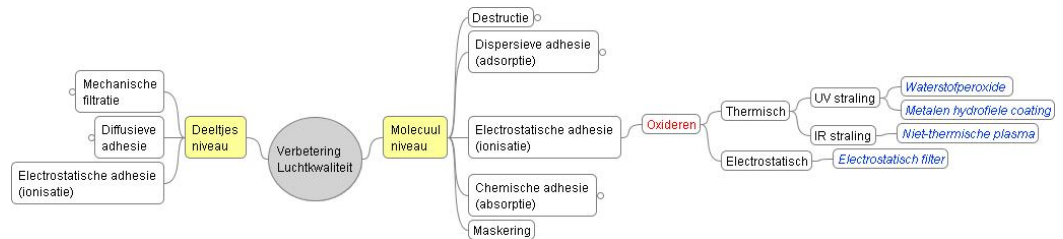
- Onderzoek naar het ontstaan van eventuele tussenproducten bij afbraak van geurstoffen in zeoliet filters is gewenst.

#### *B.3.4 Elektrostatische adhesie (ionisatie)*

Sommige geleidende materialen kunnen elektronen doorgeven om een verschil in elektrische lading bij de verbinding te vormen. Dit resulteert in een structuur die lijkt op een condensator en leidt tot een aantrekkende elektrostatische kracht tussen de materialen.

#### *Mechanismen*

Figuur 32 toont mechanismen van elektrostatische adhesie.

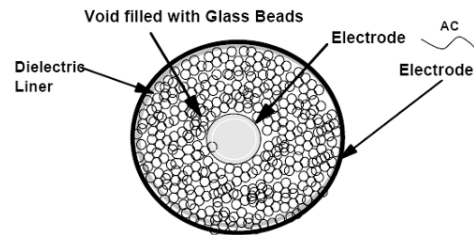


Figuur 32 Schematische weergave van elektrostatische adhesie (ionisatie) mechanismen en materialen

**Waterstofperoxide** is een chemische verbinding die het peroxide ion  $O^{2-}$  bevat. Het waterstof peroxide molecuul heeft een zuurstofmolecuul meer dan het veel stabilere watermolecuul. De binding tussen de twee zuurstofatomen, de zogenaamde peroxide verbinding, laat vrij gemakkelijk los, onder vorming van zuurstof radicalen. Verontreinigingen kunnen door de vrije zuurstof radicalen kunnen worden afgebroken. De vrije zuurstof radicalen hebben zowel een oxiderende als een desinfecterende werking. Vanwege deze dubbele werking wordt waterstof peroxide verneveling onder andere toegepast bij de bestrijding van de MRSA bacterie in ziekenhuizen.

Zelfreinigend glas is samengesteld uit blank glas met daarop een transparante **minerale hydrofiele coating** met fotokatalytische en hydrofiele eigenschappen. Zelfreinigend glas maakt gebruik van de gecombineerde werking van UV-stralen en regenwater op glas. De titaniumoxide-coating reageert (door middel van een fotokatalytisch proces) op de ultraviolette straling in het daglicht en breekt zo het organisch vuil af. Vuil dat zich opstapelt op de buitenkant van de ruit, zoals regensporen, stof, vegen, en organische vuilresten uit de lucht, wordt effectief verwijderd. Het tweede deel van het proces vindt plaats wanneer regen of water op het glas valt. Aangezien de zelfreinigende beglazing “hydrofiel” is, vormt het water geen druppeltjes, maar een film over het glas oppervlak. Het water wast alle vuilresten weg die werden afgebroken door de ultraviolette zonnestrallen. Vergeleken met gewoon glas droogt het water ook zeer snel op zonder vlekken achter te laten (Pilkington 2008).

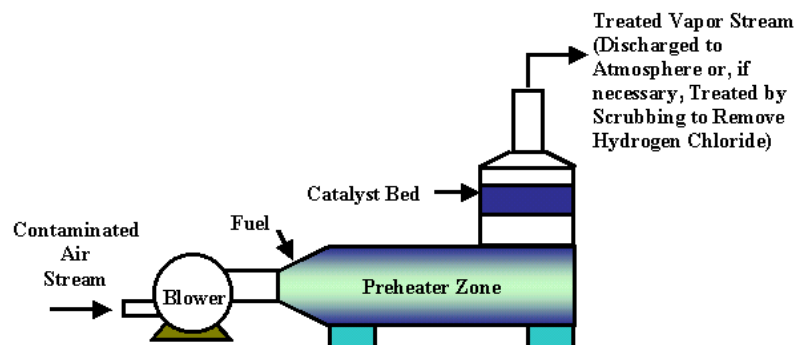
**Niet-thermische plasma** (non-thermal plasma, NTP) is een reactor die gebruik maakt van statische elektriciteit. Statische elektriciteit is de ontlading van elektriciteit die optreedt wanneer een potentieel (voltage) het isolerend effect van de luchtlaag tussen twee media overtreft. De reactor (Figuur 33) bestaat uit twee elektroden (een elektrode in de vorm van een metaalpijp en een andere elektrode in de vorm van een metaaldraad in het midden van de pijp) gescheiden door een luchtledige ruimte gevuld met een diëlektrisch materiaal (liner) en glasparels. Emissies stromen door de pijp.



Figuur 33 Non-Thermal Plasma reactor

Het plasma is over het algemeen niet in thermodynamisch evenwicht, omdat bijvoorbeeld ionentemperatuur verschilt van elektronentemperatuur. Niet-thermische plasma's zijn energie-efficiënt en kunnen diverse binnenlucht verontreinigingen gelijktijdig verwijderen. Atmosferische plasmaontladingen produceren elektronen met een hoge energie, terwijl het achtergrondgas dicht bij kamertemperatuur blijft (Van Durme; Dewulf; Sysmans; Leys, and Van Langenhove 2007; Magureanu; Mandache; Eloy; Gaigneaux, and Parvulescu 2005). Elektronen activeren, scheiden en ioniseren gasmoleculen waardoor chemisch actieve soorten (zuurstof atomen, hydroxyl radicalen, ozon, enz.) ontstaan. Deze soorten kunnen bijvoorbeeld VOCs oxideren. Echter, niet-thermische plasma technologieën zijn nog niet commercieel getest.

Oxidatie is een chemisch proces waarbij de ene stof, de reductor, elektronen afgeeft aan een andere stof, de oxidator. Hierdoor neemt het oxidatiegetal van de reductor toe. Geavanceerde oxidatieprocessen zoals thermisch katalytische oxidatie en fotokatalytische oxidatie (photocatalytic oxidation, PCO) zijn veelbelovende technologieën voor luchtreiniging waarbij de verontreinigende stoffen aan  $H_2O$  en  $CO_2$  kunnen worden geoxideerd (Wang; Ang, and Tade 2007). Figuur 34 laat een voorbeeld van een thermisch oxidatieproces zien.



Figuur 34 Oxidatiediagram

#### Innovatierichtingen

- Onderzoek naar het werkingsmechanisme van en het ontstaan van eventuele tussenproducten bij ioniserende verlichting: door de warmte van de lucht

ontstaat een luchtbeweging waarbij de lucht langs een ionisator komt die vervuilde lucht reinigt.

- Onderzoek naar de mogelijkheden om met niet-thermische plasma verontreinigingen te verwijderen.

#### B.3.5 *Maskering*

Maskering is een proces waarbij een stof onzichtbaar wordt als gevolg van de aanwezigheid van een andere stof. Zo kan bijvoorbeeld een onaangename geur met een sterkere en aangename geur worden gemaskeerd. De resulterende geur zal aangenamer zijn zodat geurklachten mogelijk verminderen, maar in essentie wordt de geurbelading hoger. Veelgebruikte maskeerders zijn etherische oliën van vanille, citrus, dennenboom of bloemen. Omdat maskering ‘probleemverhulling’ in plaats van ‘probleembestrijding’ is, zal het verder buiten beschouwing worden gelaten.

#### *Innovatierichtingen*

Onderzoek naar het gezondheidseffect van maskering.

## B.4 Referenties

Camfill Farr, Principes van filtratie [Web Page], 2008. Accessed 2008 Dec. Available at: [http://www.camfilfarr.com/cou\\_neth/filtertechnology/proffilt/](http://www.camfilfarr.com/cou_neth/filtertechnology/proffilt/).

Dash, S., Mishra, S., Patel, S., Bijay, M.K., Organically modified silica: Synthesis and applications due to its surface interaction with organic molecules, *Advances in Colloid and Interface Science*, 2008, 140(2):77-94.

Indoor Air, The 11th International Conference on Indoor Air Quality and Climate 17th August to 22nd August 2008 [Web Page]. Accessed 2008 Dec. Available at: <http://www.indoorair2008.org/>.

Lathouder, K.M. de, Development of a monolithic bioreactor: design and application, thesis Delft Technical University, 2007.

Magureanu, M., Mandache, N.B., Eloy, P., Gaigneaux, E.M., Parvulescu, Vasile I., Plasma-assisted catalysis for volatile organic compounds abatement, *Applied Catalysis B: Environmental*, 2005, 61(1-2):12-20.

Mohr, M. and Burtscher, H., Investigation of particle separation using photoelectric charging, *Journal of Aerosol Science*. 1996, 27(Supplement 1):S189-S190.

Pilkington, Producten van glas van gebouwen en auto's over de hele wereld [Web Page]. Accessed 2008 Dec. Available at: <http://www.pilkington.com/europe/benelux/dutch/default.htm>.

Poddart, T.K., Majumdar, S., Sirkar, K.K., Membrane-based absorption of VOCs from a gas stream, *AIChE Journal*, 1996, 42(11): 3267-3282.

- Poddart, T.K., Sirkar, K.K., A hybrid of vapor permeation and membrane-based absorption-stripping for VOC removal and recovery from gaseous emissions, *Journal of Membrane Science*, 1997, 132(2):229-233.
- Ramrez-Lopez, E., Corona-Hernandez, J., Dendooven, L., Rangel, P., Thalasso, F., Characterization of five agricultural by-products as potential biofilter carriers, *Bioresource Technology*, 2003, 88:259-263.
- Uhlmann, D.R., Teowee, G., Sol-Gel, *Science and Technology: Current State and Future Prospects*, 1998, 13(1):153-162.
- Uzunova-Bujnova, M., Todorovska, R., Dimitrov, D., Todorovsky, D., Lanthanide-doped titanium dioxide layers as photocatalysts, *Applied Surface Science*, 2008, 254(22):7296-7302.
- Van Deuren, J., Lloyd, T., Chhetry, S., Liou, R., Peck, J., *Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide, 4<sup>th</sup> Edition [Web Page]*, 2002, Accessed 2008 Dec. Available at: <http://www.frtr.gov/matrix2/section4/4-60.html>.
- Van Durme, J., Dewulf, J., Sysmans, W., Leys, C., Van Langenhove, H., Efficient toluene abatement in indoor air by a plasma catalytic hybrid system, *Applied Catalysis B: Environmental*, 2007, 74(1-2):161-169.
- Wang, S., Ang, H.M., Tade, M.O., Volatile organic compounds in indoor environment and photocatalytic oxidation: State of the art, *Environment International*, 2007, 33(5):694-705.
- Wet gewasbeschermingsmiddelen en biociden, 2007; artikel 1, lid 1.

## C Ontwikkeling woningvoorraad

Voor het bepalen van het maatschappelijk rendement van de invoering van nieuwe technologieën ter verbetering van de kwaliteit van het binnenmilieu, is inzicht nodig in de absolute volumes woningen, scholen en kantoren waarom het gaat en het verbeterpotentieel van de bestaande voorraad.

Bij de uitwerking van de scenario's tot 2030 richten we ons vooral op de woningvoorraad. Immers, in woningen brengen we de meeste tijd binnen door. Ook zijn over woningen meer gegevens beschikbaar.

Verbetering van de kwaliteit van het binnenmilieu van de woningvoorraad kan plaatsvinden door renovatie in de bestaande voorraad en door de toepassing van nieuwe technologieën in nieuwbouwwoningen. Hiervoor zijn twee elementen nodig:

Stand van zaken nu van de kwaliteit van het binnenmilieu in de huidige woningvoorraad

Ontwikkelingen in de woningvoorraad van nu tot 2030

Dit resulteert uiteindelijk in een ontwikkelingspad van 2006 tot 2030 van het aantal woningen naar type (eensgezins, meersgezins) en bouwjaar.

### C.1 Woningvoorraad 2006

De huidige woningvoorraad bestaat uit 6,9 miljoen woningen. De voorraad bestaat voor het grootste deel uit koopwoningen (56 procent), gevolgd door sociale huurwoningen (33 procent) en particuliere huurwoningen (11 procent). Het belang van koopwoningen wordt alleen maar groter in de voorraad. Ongeveer driekwart van de nieuwbouwproductie de afgelopen 15 jaar bestaat uit koopwoningen. Deze ontwikkeling wordt versterkt door de onttrekkingen, die voor het merendeel uit huurwoningen bestaan.

Bij de samenstelling van de woningvoorraad zien we duidelijke verschillen. De 6,9 miljoen woningen in Nederland bestaan uit 4,9 miljoen eengezinswoningen en 2 miljoen meergezinswoningen. Zeven op de 10 eengezinswoningen in Nederland is een koopwoning, tegenover bijna een kwart van de meergezinswoningen. Ruim 87 procent van alle koopwoningen is een eengezinswoning. Bij huurwoningen is de verhouding tussen een- en meergezinswoningen ongeveer gelijk, waarbij bij sociale huur de nadruk iets meer ligt op eengezinswoningen en bij particuliere huur op meergezinswoningen. Meergezinswoningen bestaan voor 55 procent uit sociale huurwoningen.

Tabel 9 Woningvoorraad 2006, opgesplitst naar bouwjaar, type woning en eigendom woning (x 1000 woningen)

Bouwjaar	Koop		Particuliere huur		Sociale huur		Totaal		Totaal Totaal
	eg	mg	eg	mg	eg	mg	eg	mg	
tot 1945	782	102	132	165	163	138	1077	405	1482
1945-1970	735	121	79	107	451	450	1265	678	1942
1971-1980	619	78	50	44	263	156	932	277	1209
1981-1990	508	56	55	50	215	213	779	319	1098
1991-2000	519	79	26	29	81	118	626	226	852
na 2000	209	53	9	12	24	23	243	88	331
<b>Totaal</b>	<b>3372</b>	<b>490</b>	<b>351</b>	<b>407</b>	<b>1197</b>	<b>1097</b>	<b>4920</b>	<b>1994</b>	<b>6914</b>

Bron: ABF Research - Systeem woningvoorraad (Syswov 2007)

Ook bij de verdeling naar bouwperiode zien we tussen de koop en huurwoningen duidelijke verschillen door toedoen van het overheidsbeleid. Na de oorlog is volkshuisvesting een belangrijke taak van de overheid geweest en we zien dat veertig procent van de huidige voorraad aan sociale huurwoningen gebouwd is in de periode 1945-1970. Sinds de verzelfstandiging van de woningcorporaties begin jaren negentig is de productie van sociale huurwoningen gehalveerd. Waar in de jaren zeventig en tachtig ruim 400 duizend sociale huurwoningen werden gebouwd, waren dat er in de jaren negentig 200 duizend.

## C.2 Woningvoorraad 2030

Voor ontwikkeling van de woningvoorraad tot 2030 maken we gebruik van de studie Welvaart en Leefomgeving (WLO) van de drie planbureaus en de Bouwprognoses van TNO.

In de WLO-studie is in vier scenario's (Regional Communities, Strong Europe, Transatlantic Market, Global Economy) een toekomstbeeld geschetst naar 2040 van de ontwikkelingen op gebied van wonen, werken, en andere maatschappelijke thema's. In onze roadmaps kiezen wij het middenscenario Transatlantic Market als uitgangspunt om het aantal woningen in 2030 te ramen<sup>2</sup>. De WLO biedt informatie over de bevolkingsgroei, de huishoudensgroei, en de nieuwbouw van eensgezins- en meergezinswoningen op lange termijn. In de bijlage is een uitgebreide beschrijving opgenomen van de studie Welvaart en Leefomgeving.

Volgens de WLO-scenario's worden er in de periode 2002-2020 gemiddeld 79 duizend woningen nieuwgebouwd en 24 duizend woningen gesloopt. In de periode 2021-2040 neemt de nieuwbouwproductie af tot een gemiddelde van 54 duizend woningen per jaar en de sloop van woningen groeit naar gemiddeld 29 duizend woningen per jaar. Voor de periode 2006-2030 betekent dit een gemiddelde toename van 45 duizend woningen per jaar (saldo nieuwbouw en sloop).

De WLO dient als ijkpunt voor de lange termijn (2030). De samenstelling van de woningvoorraad is afkomstig van het woningvoorraadsimulatiemodel SYSWOV van ABF Research. In opdracht van het Ministerie van VROM worden hiermee simulaties ge-

<sup>2</sup> In overleg met het Ministerie van VROM, zou hier ook voor een ander lange termijn scenario uit de WLO-studie gekozen kunnen worden.

maakt van de woningvoorraad per gemeente (zie ABF Research (2007), Woningvoorraadgegevens 2006). In de bijlage is een uitgebreide beschrijving opgenomen.

In Tabel 10 zijn de resultaten opgenomen voor het jaar 2030.

Tabel 10 Woningvoorraad 2030, opgesplitst naar bouwjaar, type woning en eigendom woning (x 1000 woningen)

Bouwjaar	Koop		Particuliere huur		Sociale huur		Totaal		Totaal Totaal
	eg	mg	eg	mg	eg	mg	eg	mg	
tot 1945	834	154	107	147	99	80	1040	380	1420
1945-1970	785	175	45	54	354	292	1184	521	1705
1971-1980	694	99	18	24	190	114	902	237	1139
1981-1990	587	87	20	30	159	176	765	292	1058
1991-2000	549	95	10	19	65	108	624	222	845
2001-2010	459	127	11	25	45	54	515	207	722
2011-2020	385	118	15	32	43	56	443	206	648
2021-2030	252	86	13	27	31	42	296	155	450
<b>Totaal</b>	<b>4546</b>	<b>941</b>	<b>238</b>	<b>358</b>	<b>984</b>	<b>921</b>	<b>5769</b>	<b>2220</b>	<b>7988</b>

Bron: ABF Research - Systeem woningvoorraad (Syswov 2007)

Tabel 11 Ontwikkeling Woningvoorraad 2006-2030, opgesplitst naar bouwjaar, type woning en eigendom woning (x 1000 woningen)

Bouwjaar	Koop		Particuliere huur		Sociale huur		Totaal		Totaal Totaal
	eg	mg	eg	mg	eg	mg	eg	mg	
tot 1945	53	52	-25	-19	-64	-58	-37	-25	-62
1945-1970	50	54	-34	-53	-97	-158	-80	-156	-237
1971-1980	75	22	-32	-20	-73	-42	-30	-40	-70
1981-1990	79	30	-36	-20	-57	-37	-13	-27	-40
1991-2000	30	16	-16	-10	-16	-10	-2	-4	-6
Sloop*	288	174	-143	-121	-307	-306	-162	-253	-415
2001-2010	250	74	1	13	21	31	272	119	391
2011-2020	385	118	15	32	43	56	443	206	648
2021-2030	252	86	13	27	31	42	296	155	450
Nieuwbouw	887	278	29	72	94	129	1010	479	1489
<b>Totaal</b>	<b>1175</b>	<b>451</b>	<b>-113</b>	<b>-49</b>	<b>-213</b>	<b>-177</b>	<b>849</b>	<b>226</b>	<b>1075</b>

Bron: ABF Research - Systeem woningvoorraad (Syswov 2007)

\* Hierbij is gemakshalve aangenomen dat er geen sloop plaatsvindt van de woningen die gebouwd zijn in de periode 2001-2006.

In totaal neemt de woningvoorraad met ruim 1 miljoen woningen toe in de periode 2006-2030. Gemiddeld neemt de woningvoorraad in de periode 2006-2030 met 45 duizend woningen per jaar toe, dit komt overeen met het Transatlantic Market-scenario. De



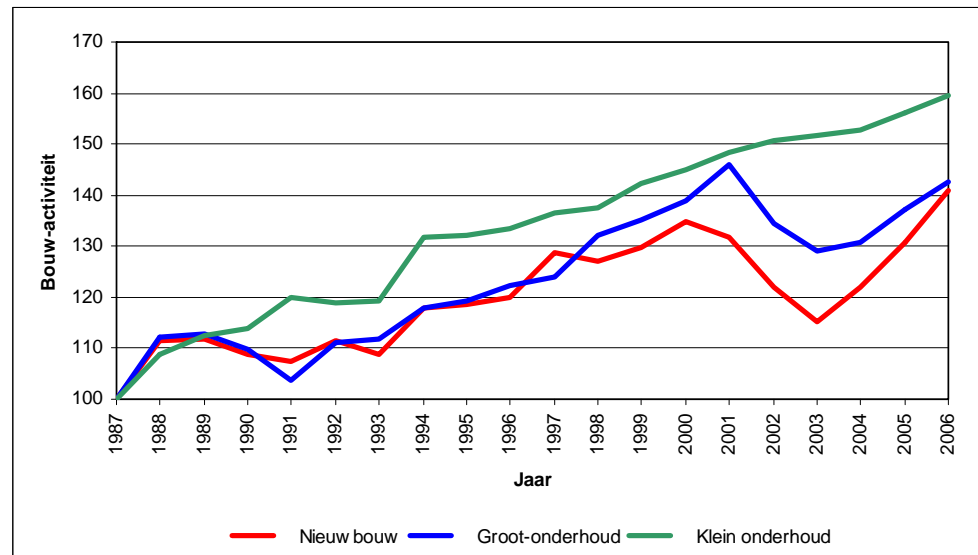
woningvoorraad in 2030 bestaat uit bijna 8 miljoen woningen waarvan er nog 1,5 miljoen gebouwd moeten worden (in 2006). Ruim 80 procent van de woningvoorraad in 2030 bestaat dus uit woningen die reeds gebouwd zijn.

### C.3 Rol renovatie

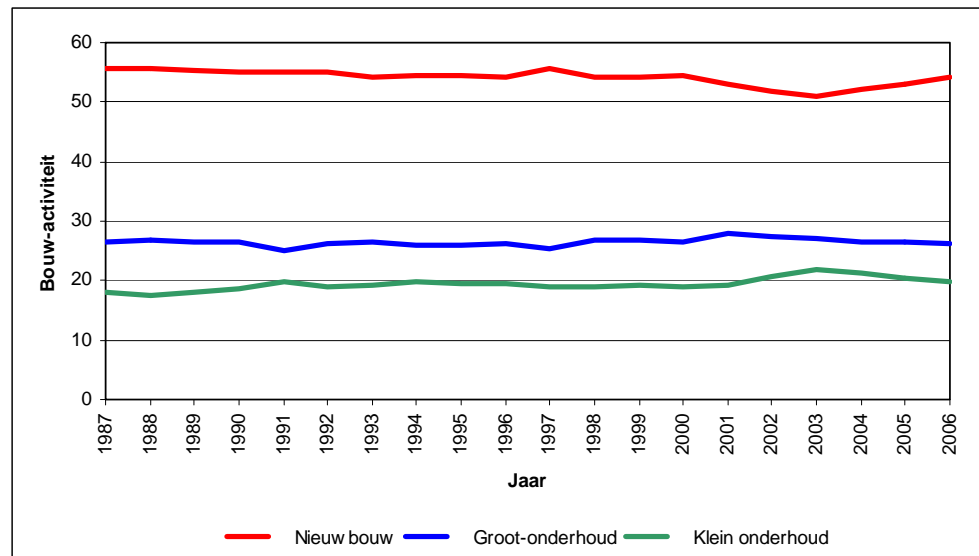
Door sloop, nieuwbouw en renovatie van woningen kan de kwaliteit van de woningvoorraad worden vergroot.

Volgens cijfers van de bouwsector groeien de bouwactiviteiten gestaag (Figuur 35). Klein onderhoud is het segment dat relatief het hardst en het meest constant groeit. Nieuwbouw en groot onderhoud blijken meer conjunctuurgevoelig te zijn.

De verhouding tussen verschillende bouwactiviteiten is de afgelopen 20 jaar min of meer constant gebleven (Figuur 36). Nieuwbouw is goed voor ongeveer 55 procent van de omzet, gevolgd door groot onderhoud (25-30) en klein onderhoud (20 procent).



Figuur 35 Ontwikkeling van bouwactiviteiten in de afgelopen decennia



Figuur 36 Verhouding van bouwactiviteiten in de afgelopen decennia

Veel experts verwachten een stijgende lijn in renovatie. Met een verschuiving van nieuwbouw naar renovatie. In deze visie wordt herbestemming van gebouwen steeds aantrekkelijker geacht, vanwege:

de toegenomen snelheid waarmee de bestemming verandert in verhouding tot de hoge technische levensduur (restwaarde),

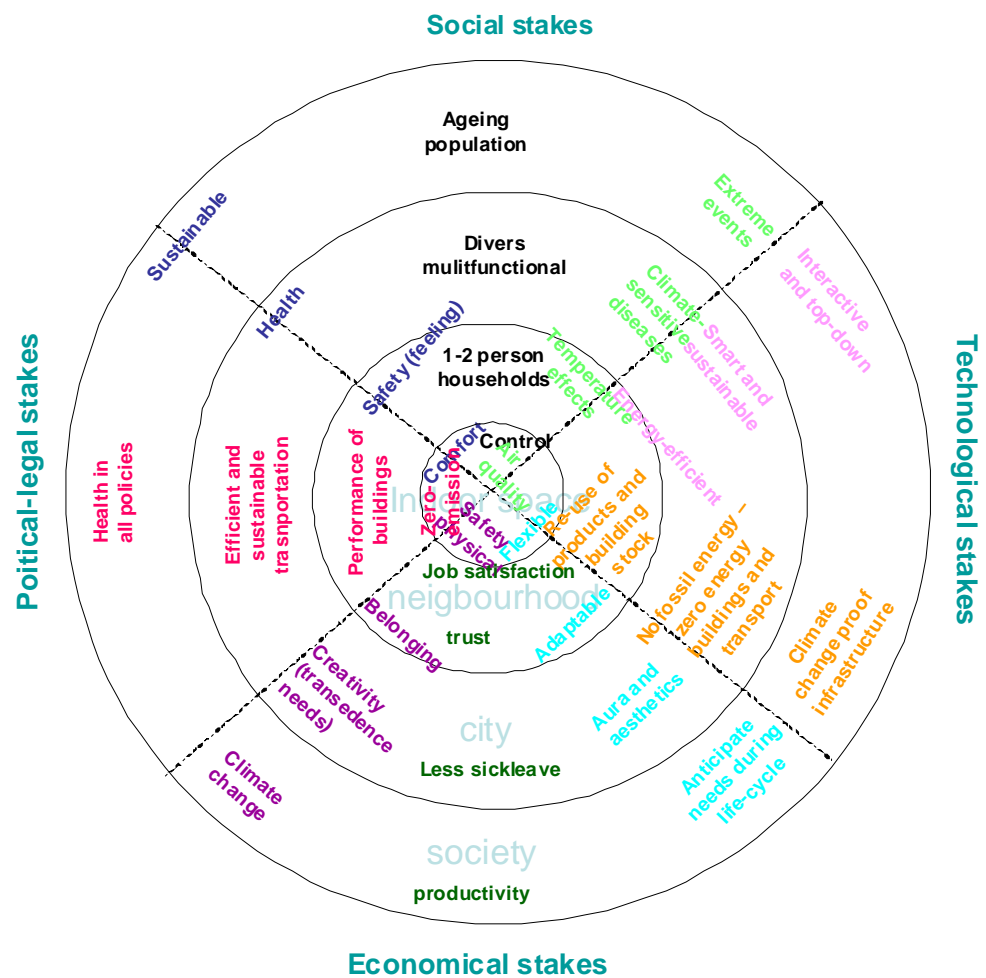
kosten (sterk gestegen grondprijzen bij nieuwbouw, hoge restwaarde van de draagconstructie, lagere kosten bij renovatie in verhouding tot nieuwbouw),

het verwachte toekomstige gebrek aan bouwlieden in combinatie met de sterk toenemende bouwbehoefte op basis van de leeftijdsopbouw van de woningvoorraad, de toenemende behoefte aan woonruimte met beperkt volume ten behoeve van ouderen, alleengaanden, één-oudergezinnen en starters.

Vooralsnog tonen de cijfers van de bouwsector nog geen voortekenen van deze trend. Als deze trend zich echter voordoet, is het belangrijk de kwaliteitseisen bij renovatie ook voor het binnenmilieu goed vast te leggen. Het accent van de wettelijke eisen (Bouwbesluit) ligt thans vooral op nieuwbouw.

## D Procesgerelateerde maatregelen

### D.1 Top-down benadering



Figuur 37 Stakes op verschillende niveaus (Blyussen, 2008a).

Management van het binnenmilieu is een zaak voor veel belanghebbenden op verschillende schaalniveaus. Het is een dynamisch proces, waarbij rekening moet worden gehouden met veranderingen in de tijd op die verschillende niveaus en van die belanghebbenden. een “top-down” benadering is nodig voor zowel het voldoen aan de eindgebruikerswensen en -eisen (behoeften en benodigdheden) als het benodigde communicatieproces voor het faciliteren van het ontwerp, de bouw, het onderhoud en de bewoning van een binnenmilieu (Blyussen, 2008b). Deze ‘top-down’ benadering kan naast de traditionele “bottom-up” benadering worden gebruikt om behoeften van

eindgebruikers te bepalen (Bluyssen, 2008c). Om deze top-down benadering te kunnen laten werken, is begrip nodig van:

- de wensen en eisen van de eindgebruiker nu en in de toekomst;
- de sociale, economische, politiek-juridische en technologische context op zowel globaal als lokaal niveau en de daaraan verwante attributen (invloedfactoren op gezondheid en comfort en randvoorwaarden);
- de verantwoordelijke en betrokken belanghebbenden voor/bij de realisatie van een binnenmilieu en de benodigde communicatie proces(sen);
- de interacties die plaatsvinden tussen de mens, het binnenmilieu, gebouw (elementen) en buitenmilieu.

Behalve het vaststellen van de eindgebruikerswensen en -eisen aan het begin van een project, is het proces tussen de betrokken belanghebbenden tijdens de hele levensduur net zo belangrijk voor het goed vertalen van de eindgebruikerswensen en -eisen. De gekozen *top down* benadering, analoog aan systeemengineering (Blanchard, 2004), veronderstelt een nieuwe manier van samenwerken tussen vraag- en aanbodzijde. Eigenlijk een nieuwe samenwerking tussen alle belanghebbenden en misschien ook nog andere belanghebbenden dan normaal.

In deze benadering bestaat een systeem uit samenhangende onderdelen, waarvan de onderdelen apart maar ook de relaties worden bestudeerd voordat ze terug in elkaar worden gezet. Een systeem heeft invoergegevens (vaststellen eindgebruikersbehoeften en -benodigdheden), uitkomstgegevens (een systeem dat effectief en efficiënt reageert op een gebruikersbehoefte), opgelegde externe belemmeringen (technologisch, economisch, sociaal, politiek, milieu), en benodigde mechanismen om de gewenste resultaten te realiseren (mens, machine/software, faciliteiten/data, materialen onderhoud ondersteuning). Er zijn producten en processen in het systeem aanwezig. De levenscyclus van het systeem bevat: vaststellen behoefte, ontwerp en ontwikkeling, productie en/of bouw, gebruiks- en onderhoudsondersteuning, afscheid en materiaalafval.

De top-down benadering bevat de volgende stappen:

1. Wensen en eisen: systeemgrenzen
2. Van eisen en wensen naar technische benodigdheden: conceptueel ontwerp
3. Van technische benodigdheden naar experimenteren: voorontwerp
4. Prototypen: detailontwerp en ontwikkeling
5. Demonstratie en marketing: productie en/of uitvoering
6. Bewoning en verandering: operationeel gebruik en ondersteuning
7. Afbraak en hergebruik: afscheid en materiaalhergebruik/afval

Tijdens het hele ontwerp en de ontwikkeling van het systeem zijn er vele, verschillende alternatieven (of onderhandelingen) die een bepaalde evaluatie vereisen. Een goede communicatie tussen de belanghebbenden is dus belangrijk vanaf het begin. Het benodigde "team" varieert in elke fase, omdat bij de ontwikkeling van het systeem de benodigde kennis verandert. Terwijl aan het begin individuen met een meer breed georiënteerde achtergrond gewenst zijn, zal bij het detailontwerp en de ontwikkelingsfase dieptekennis nodig zijn en dus experts. De behoefte aan goede communicatie tussen de teamleden geldt echter voor alle stappen, net zoals het begrijpen van de vele, bestaande interfaces. Het missen van een bepaalde discipline is vaak een van de oorzaken van problemen. Het is daarom belangrijk om alle mogelijke

discipline in alle stappen/fasen van het proces te beschouwen, zeker aan het begin wanneer de randvoorwaarden en benodigdheden van het systeem worden vastgelegd.

Met het startteam worden de systeemgrenzen bepaald en de ontwerpen voor de verschillende disciplines gemaakt. Systeemanalyses worden uitgevoerd, onderhandelingen worden gedaan, de ontwerpen worden getoetst en geëvalueerd, en de ontwerpen worden herzien, veranderd en aangepast voor de volgende ronde, totdat de resultaten voor ieder teamlid acceptabel zijn en de volgende stap in het proces kan worden genomen. Alle keuzes worden gemaakt op basis van onderhandelingen over opties voor materialen, dimensies, installaties, structuur, vorm, etc., maar altijd verwijzend naar de vastgestelde systeemcriteria.

Bij een eerste toepassing van de systeemengineering-benadering voor een geïntegreerd ontwerp van sociale woningbouw, werd een team samengesteld voor het OMNIUM-project (Adan and Bluysen, 2004). Er werd besloten om alleen de eerste stap uit te voeren: het vaststellen van de *systeemgrenzen (de benodigdheden) en het conceptueel ontwerp*. Hiervoor is een methode beschikbaar genaamd de *concurrent design approach*, die gebaseerd is op succesvol gebruikte methode in de European Space Agency Concurrent Design Facility (ESA CDF) ([esa.int/cdf](http://esa.int/cdf)). Deze methode maakt het mogelijk voor ESA om de tijdsduur van een conceptueel ontwerp en/of haalbaarheidsstudies met een factor 4 in tijd te reduceren en daarom de kosten voor dergelijke activiteiten met een factor 2. Afhankelijk van de gewenste resultaten en de systeembenodigdheden, werden de vereiste expertises bepaald en de experts uitgenodigd door de klant (in OMNIUM: een Nederlands sociale woningbouwcorporatie) om aan het team mee te doen.

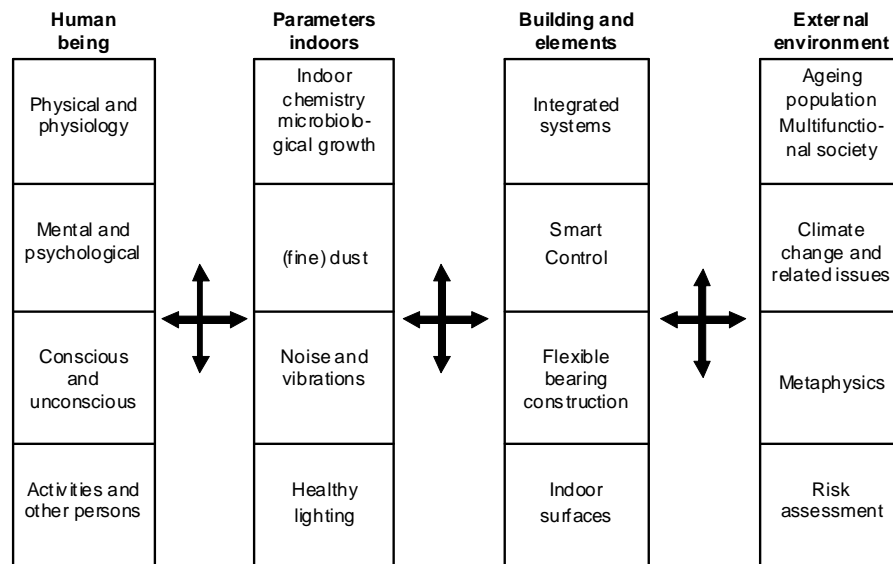
Ook al heeft deze oefening inderdaad geleid tot de benodigde informatie om een beoordeling te kunnen maken of een dergelijk project (OMNIUM) haalbaar is en wat daar dan voor nodig is, toch kan er een aantal kanttekeningen worden gemaakt bij de gevolgde methodiek. Ten eerste bleek het heel moeilijk voor sommige teamleden om verscheidene opties tegelijk te beschouwen, zonder daarbij meestal meteen in technische of architectonische oplossingen te denken. Dit is een belangrijke drempel voor de eerste stap waarin de grenzen en benodigdheden van het systeem worden vastgesteld en vooral nog geen oplossingen. Niet iedereen is daar geschikt voor. De leden van het startteam zullen dus daarop moeten worden geselecteerd. Ten tweede hadden sommige teamleden moeite met het loslaten van de traditionele rol die ze gewend zijn te spelen. Dit werkt destructief voor de andere teamleden. En ten derde: het betrekken van teamleden die normaal niet betrokken zijn in het bouwproces, zoals een industrieel ontwerper of een vliegtuigbouwer, helpt bij het 'out of the box' denken en lijkt dus een goede aanbeveling. Als laatste, maar zeker niet het minst, treden conflicten tussen sommige systeembenodigdheden op omdat dit een gecombineerde ontwerpinspanning vereist. Het uit elkaar halen van de technische verantwoordelijkheid en de functionele en architectonische verantwoordelijkheid is niet de oplossing, maar wel een makkelijke valkuil.

## D.2 Interacties op alle interfaces

De geschetste top-down benadering werkt alleen maar goed als de interacties op de verschillende niveaus en plaatsen goed worden begrepen. Er vinden interacties plaats op:

- mensniveau: fysisch, mentaal en tussen mensen;
- niveau van de binnenmilieuparameters: tussen en in;
- gebouwniveau: tussen gebouwelementen en tussen gebouw en omgeving.

Al deze interacties bepalen uiteindelijk hoe iemand zich voelt, hoe gezond en comfortabel die is op een bepaald moment in de tijd en hoe in de tijd op de omgeving wordt gereageerd.



Figuur 38 Interacties op verschillende niveaus (Bluyssen, 2008a).

### D.3 Stapsgewijze risicoanalyse

Het is duidelijk dat de eindgebruiker betrokken moet zijn in het ontwerpproces om zijn/haar wensen en eisen duidelijk te maken. Daarom is er een risicobepalingsprocedure nodig waarbij zowel de traditionele bottom-up benadering als de top-down benadering worden gebruikt. Een dergelijke procedure zou uit de volgende stappen kunnen bestaan:

1. Bepaal de wensen en eisen van de eindgebruiker, hun profiel (indien mogelijk de mentale en fysische condities van de eindgebruiker(s) inclusief de context en attributen zoals eerder genoemd) en probeer deze te vertalen in binnenmilieubehoeften (stap 1 van de top-down benadering);
2. Bepaal de mogelijke risico's met behulp van alle betrokken belanghebbenden (inclusief de eindgebruikers), gerelateerd aan de bepaalde binnenmilieudoelen en de eindgebruikersprofielen;
3. Voor makkelijke of bekende risico's met weinig onzekerheden, kan de klassieke benadering worden toegepast met behulp van kwantitatieve statistiek. Bijvoorbeeld bij het gebruik van bestaande regelgeving voor formaldehyde, PM, etc.;
4. Voor comfortgerelateerde risico's (altijd met de mogelijkheid een gezondheidsrisico te worden) moet de eindgebruiker direct worden betrokken. Een prototype van het betreffende object of reconstructie van de activiteit kan

- worden gebruikt. Indien nodig kunnen (wetenschappelijke) experts worden geraadpleegd;
5. Voor gezondheidsgerelateerde risico's die met meer dan 1 factor samenhangen en waarvoor geen acceptabele richtlijnen of regelgeving beschikbaar zijn, zal de balans tussen efficiëntie en redelijkheid moeten worden bepaald in een discussie. Bijvoorbeeld het risico ziek te worden van microbiologische groei op een bepaald materiaal, dat bekend staat als geschikt te zijn voor groei, is niet zo groot, zelfs wanneer men weet dat het kan gebeuren. Men kan afwegen of het redelijk is om dit materiaal te gebruiken op plaatsen waar de condities voor groei gunstig zijn, zoals in een badkamer. Een ander voorbeeld is het gebruik van luchtbehandelinginstallaties in het licht van energie versus gezondheid;
  6. Als controversie bestaat over een zeker risicoaspect (anders dan kans en mate van gezondheidsschade), of een risico wordt bestempeld als onbekend en nieuw, dan zullen de belanghebbenden moeten worden betrokken in een discussie. Bijvoorbeeld bij het bepalen van het risico van hoogspanningsleidingen of GSM-masten, of voor nieuwe ontwerpconcepten waarbij nieuwe materialen en configuratie worden toegepast. Het is misschien nodig om gedragsonderzoek, interviews, etc. uit te voeren;
  7. Wanneer onzekerheden tegelijkertijd met de ernst en mate toenemen (bijvoorbeeld klimaatveranderingeffecten of (fijn) stof van buiten), is een wetenschappelijk onderzoek en/of een politiek debat nodig. Dit moet dan leiden tot een breder geaccepteerde definitie van het risico, een strategie om het probleem te meten of om erop geattendeerd te blijven en uiteindelijk een beslissingsprotocol (plan de campagne);
  8. Voor vertaling van binnenmilieubehoeften naar technische behoeften van de gebouwde omgeving zijn de gepresenteerde interacties heel belangrijk.

In deze ladder voor risicobepaling wordt aanbevolen eerder verkregen en nieuwe informatie over risico's van bepaalde aspecten van het binnenmilieu mee te nemen. Deze informatie kan worden verzameld via observaties van gedrag, vragenlijsten, interviews, controlelijsten, etc.

## E Roadmap

Een roadmap is een methode om te bepalen welke stappen moeten worden gezet om een vooropgesteld doel te bereiken. Het gaat dan zowel om het wegnemen van belemmeringen als het stimuleren van initiatieven en creëren en verzilveren van kansen.

Vanuit twee perspectieven kan men de roadmap benaderen:

1. technology roadmap:  
wat is er nodig voor de ontwikkeling en toepassing van geschikte technologieën?
2. business roadmap:  
welke barrières moeten worden geslecht en welke kansen verzilverd om een beter binnenmilieu te krijgen?

Het vooropgestelde doel kan op verschillende manieren worden geformuleerd. Het doel in het kader van deze studie is vrij abstract geformuleerd. De hier gehanteerde horizon is 2030. Het doel is:

- alle gebouwen (woningen, kantoren en scholen) hebben in 2030 een goed binnenklimaat.

Wil men deze ambities realiseren dan moet men een aantal barrières overwinnen die diep zijn geworteld in onze manier van denken (paradigma's), in de wijze waarop we zaken hebben georganiseerd en in onze dagelijkse routines. Anders gezegd: een samenhangende verandering van cultuur, structuur en werkwijzen (transitie) is noodzakelijk om het geheel van gebouwen, technologieën, installaties, wet- en regelgeving, gedrag en werkwijzen van projectontwikkelaars, adviseurs, installateurs, energieleveranciers, huurders, beleggers, eigenaars / gebruikers, beheerders, architecten en bouwers in de geambieerde richting om te buigen.

De roadmap in dit rapport bestaat uit een opsomming van de belemmeringen en kansen voor nieuwe technologieën voor het verbeteren van het binnenmilieu. Het gaat hier om toepassing in drie deelsectoren woningbouw, utiliteitsbouw en scholenbouw. Er is gebruik gemaakt van methoden die bij TNO zijn ontwikkeld (Hoogendoorn, 2004).

De technology roadmap wordt uitgewerkt voor 1, 2, 3 of meer technologieën. Daarvoor kan gebruik worden gemaakt van de Innovatiesysteemanalyse (Hekkert et al, 2008), eerder uitgewerkt en toegepast voor micro-WKK (Wan, 2008).

### E.1 Woningbouw

(TNO, 2007)

Belemmeringen	Kansen
Cultuur <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cost-driven ipv quality driven. Nadruk ligt op de kosten bij aanbesteden. Vaak is meer/minder werk nodig om project integraal af te ronden, waardoor totaal prijzen niet inzichtelijk zijn. Evaluaties en kwaliteittoets worden niet uitgevoerd.</li> <li>- Geen continuïteit in het volgen van een visie, hypes worden gevolgd zon-</li> </ul>	Cultuur <ul style="list-style-type: none"> <li>- Professionalisering opdrachtgeverschap</li> <li>- Binnenklimaat verbinden aan energiebesparing</li> <li>- Bewoners zijn bereid geld te spenderen aan keuken en badkamer en bij dit keuzeproces kan men aansluiten</li> <li>- Kwalitatief hoogstaande leve-</li> </ul>



<p>der dat elementen daaruit echt zijn geborgd in de sector/keten (leefbaarheid, energie, veiligheid, C2C)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Installaties zijn sluitpost in ontwerp-proces wat betreft budget en ruimte. De installateur past zich aan.</li> <li>- Korte-termijnkeuzes leiden tot 'cosmetische' veranderingen</li> <li>- Bewonersgedrag laat zich niet sturen</li> <li>- Beslissing ten aanzien van sloop/nieuwbouw of renovatie wordt genomen op basis van irrationele argumenten. De cultuur van een corporatie is doorslaggegender dan bepaalde vaste indicatoren.</li> </ul>	<p>ranciers pleiten voor wetgeving/kwaliteitseisen</p>
<p>Structuur</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Opdrachtgever en koper van een nieuwbouwwoning zijn verschillende personen</li> <li>- Verschil in schaalgrootte tussen industriële productie van de toeleveranciers (30.000 stuks) en ambachtelijk maatwerk van de corporaties (3000 stuks) en particuliere eigenaars (1 stuk)</li> <li>- Grote conglomeraten willen vanuit concurrentieoverwegingen niet samenwerken</li> <li>- Gefragmenteerde sector</li> <li>- Opdrachtgevers vragen niet om renovatie</li> <li>- Geen systeembouw in de bestaande bouw, dus moeilijker om aan te sluiten</li> <li>- Veel eigenaren</li> </ul>	<p>Structuur</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- consumentgericht bouwen staat steeds meer centraal (bv. Almere)</li> <li>- verplichting bij VvE om onderhoudspot te vullen (geen slapende VvE meer)</li> <li>- steeds meer aandacht voor gezonde gebouwen irt prestatieverbetering</li> <li>- Corporaties komen steeds meer in beweging met aandacht voor goed binnenklimaat</li> </ul>
<p>Werkwijze</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lokale aanpak en maatwerk: bouw is capaciteitsindustrie ipv door innovatie gedreven</li> <li>- EPC in ontwerp is leidend, niet de daadwerkelijk gerealiseerde kwaliteit</li> <li>- Strategisch voorraadbeheer gaat uit van economische levensduurmodellen die verouderd zijn, gezien veranderingen in grondprijs, verhouding arbeid/kapitaal, vastgoedprijzen.</li> <li>- Initiatieven vanuit individu en niet vanuit collectief belang</li> <li>- Nauwelijks controle op het eindproduct. Er worden veel regels gesteld maar de controle of daaraan wordt voldaan ontbreekt.</li> </ul>	<p>Werkwijze</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Steeds meer nadruk op life-cycle ontwerpen en bouwen</li> <li>- Wetgeving op komst voor geluidsniveau binnenklimaat- en energie-installaties</li> </ul>

## E.2 Utiliteitsbouw

(TNO, 2008)

Belemmeringen	Kansen
<b>Cultuur</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kosten- en risicoreductie</li> <li>- Claim cultuur</li> <li>-</li> <li>- Gebrek aan vertrouwen</li> <li>- Een weinig uitgewerkte visie/enthousiasmerend eindbeeld</li> </ul>	<b>Cultuur</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- maatschappelijk verantwoord ondernemen (MVO)</li> <li>- Behoeftte aan transparantie en duidelijkheid</li> <li>- Koppelen aan andere aspecten, bijvoorbeeld effecten energie</li> <li>- Aandacht voor leren en kennisontwikkeling</li> </ul>
<b>Structuur</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- kosten voor installaties gering in relatie tot andere bedrijfskosten</li> <li>- Split incentives</li> <li>- Regelgeving beperkt en versnipperd</li> <li>- Prescriptief aanbesteden</li> <li>- Onbetrouwbare overheid</li> <li>- Geen dynamiek in innovatiesysteem gezondheid – bouw</li> </ul>	<b>Structuur</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Natuurlijke momenten in proces</li> <li>- Effect regelgeving/subsidiering</li> <li>- Aansluiting bij EU- regelgeving</li> <li>- Aandacht voor innovatie</li> <li>- Initiatieven standaardisering</li> <li>- Ontstaan markt (vragers en aanbieders)</li> </ul>
<b>Werkwijze</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bouwproces is versnipperd</li> <li>- Geen concept, maar eigen feest</li> <li>- Wie betaalt, bepaalt</li> <li>- Innovatie is ‘ad hoc’</li> <li>- Proven technology/zekerheid voor alles</li> <li>- Terugverdientijd</li> <li>- Gebrek aan kennis en informatie</li> <li>- Gebrek aan standaarden</li> <li>- Nauwelijks controle op het eindproduct. Er worden veel regels gesteld maar de controle of daaraan wordt voldaan ontbreekt.</li> </ul>	<b>Werkwijze</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- multifunctionele gebouwen</li> <li>- Nieuwe coalities / cross-sectorale coalities</li> <li>- Integratie bouwketen</li> <li>- Ontwikkeling nieuwe concepten/technieken</li> <li>- Toepassing nieuwe concepten/technieken</li> <li>- Initiatieven open innovatie</li> <li>- Weging duurzaamheidsaspecten in aanbestedingsprocedures</li> </ul>

## E.3 Verbijzondering U-bouw: Scholenbouw

(TNO, 2004)

Belemmeringen	Kansen
<b>Cultuur</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vast denkpatroon bij betrokken partijen</li> <li>- Er wordt vooral gewerkt met normeringen (zgn. Londo normeringen die worden aangereikt door de VNG). Deze leiden tot een ‘altijd-goed-product’ en is een veilige oplossing. Innovatieve en creatieve ontwerpen worden er niet mee gestimuleerd.</li> <li>- Sterk wisselende trends in onderwijswereld</li> </ul>	<b>Cultuur</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aansluiten op wensen van de gebruiker is trend in de bouwwereld die langzaam op gang komt</li> <li>- Afrekenen op prestatie komt steeds meer in zwang. ISSO publicatie 89 Binnenmilieu scholen hanteert drie concreet uitgeschreven kwaliteitsklassen voor prestatie-eisen.</li> <li>- Lumpsum systematiek is bij middelbare scholen ingevoerd, kan ook op lagere scholen worden in-</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Beslissingen zijn kostengedreven ipv prestatie en kwaliteitgedreven</li> <li>- Cosmetisch resultaat is belangrijker dan functionele resultaat.</li> </ul>	gevoerd
<p>Structuur</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Opdrachtgever (schoolbestuur) en gebruikers (schoolhoofd, leraren, leerlingen) van een school zijn verschillende personen</li> <li>- geen enkele rol wordt van het begin tot het eind door dezelfde partij met een continue betrokkenheid ingevuld.</li> <li>-</li> </ul>	<p>Structuur</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Professional begeleiden schoolbestuur tijdens gehele aanbestedings-, bouw- en opleveringstraject</li> <li>- Kabinetsvisie: bestaande scholen moeten na een renovatie het binnenmilieu aan de huidige eisen van het bouwbesluit laten voldoen</li> <li>- Ontwerpende en bouwende partijen integreren.</li> </ul>
<p>Werkwijze</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Het beheer is losgekoppeld van het totstandkomingsproces. Gemeente financiert de stichtingskosten, het schoolbestuur, met een bijdrage van de rijksoverheid voor groot onderhoud, financiert de onderhoudskosten. Gemeente kiest voor goedkoopste oplossing. Bestuur ontbeert kennis over beheerfase voor maken van goede keuzes</li> <li>- Er wordt ontworpen voor de beginsituatie, terwijl eigenlijk flexibiliteit gewenst is. Als aanpassing nodig is, zijn ingrepen duur en worden dus niet uitgevoerd.</li> <li>- Steeds meer meervoudig ruimtegebruik/multifunctionele gebouwen met andere prestatie-eisen</li> <li>- Nauwelijks controle op het eindproduct. Er worden veel regels gesteld maar de controle of daaraan wordt voldaan ontbreekt.</li> </ul>	<p>Werkwijze</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Er is nog veel besparing mogelijk in het beheer door slimme ontwerp oplossingen</li> </ul>

Om te zorgen voor een goede inbedding van deze technologieën in de huidige maatschappelijke context zijn diverse wegen te bewandelen. Een aantal van die wegen wordt hieronder kort beschreven:

### **1. Succesvolle translatie tussen deelsectoren**

Tussen de cultuur, structuur en werkwijze in de drie sectoren bestaan verschillen. Deelsectoren kunnen van elkaar leren en ook gebruik maken van de succesvolle veranderingen in een andere deelsector, waardoor meer ruimte en kansen ontstaan voor innovatieve maatregelen ter verbetering van het binnenklimaat. Hieronder worden twee voorbeelden genoemd.

#### ***Claimcultuur***

In de utiliteit is sinds enkele jaren het besef doorgedrongen dat een goed binnenklimaat productiviteitswinst oplevert. In vrijwel alle kantoorgebouwen wordt de ventilatiecapaciteit hoger gespecificeerd dan het Bouwbesluit-minimum. Ook worden er strenge eisen gesteld aan het voorkomen van tochtklachten en temperatuuroverschrijding. Een goed werkende klimaatinstallatie bespaart onderhoudskosten en energie. In de utiliteit heerst een claimcultuur. Deze is gebaseerd op een goed omschreven en goed bewaakt programma van eisen. Indien de ontwikkelaar/bouwer/verhuurder niet de kwaliteit leveren die is afgesproken, kan de gang naar de rechter worden ingezet. In 2006 is er bijvoorbeeld door een grote gebouweigenaar bij de kantonrechter in Amsterdam met succes een dergelijke rechtszaak gevoerd. Toepassing van deze cultuur zou voor woningen en scholen inhouden dat de prestaties in het bestek veel beter worden gedefinieerd. Op deze manier zouden bijvoorbeeld voor mechanische ventilatiesystemen prestaties kunnen worden gedefinieerd voor geluid en elektrisch energiegebruik bij een bepaalde ventilatiecapaciteit. Wat betreft deze ventilatiecapaciteit zouden er verschillende kwaliteitsklassen kunnen worden gedefinieerd. Voor scholen is hiertoe een drietal concrete kwaliteitsklassen uitgewerkt in de ISSO-publicatie 89. Voor woningbouw zouden dergelijke prestatie-eisen in GIW-verband kunnen worden ontwikkeld.

#### ***Eindgebruiker ≠ opdrachtgever***

In alle drie de sectoren vormt dit een belemmering. Bij woningen wordt er door de gemeente Almere geëxperimenteerd met particulier opdrachtgeverschap. Daarnaast is een aantal woningcorporaties momenteel bezig betere kwaliteitseisen te stellen aan mechanische ventilatiesystemen voor nieuwe wooncomplexen. Belangrijke redenen hierachter is dat wanneer er daadwerkelijk energiebesparingen worden gehaald, zij ook een hogere huur kunnen vragen en dat de restwaarde stijgt. Als hulpmiddel willen ze het kwaliteitslabel woningen gebruiken om een goede balans te vinden tussen energiebesparing, woonlasten, comfort, en gezondheid.

### **2. De meer met minder strategie**

Dit is eigenlijk zoveel mogelijk gebruik maken van de bestaande manier van werken, met steeds stringenter regelgeving en normering. Op het gebied van energiebesparing is er het programma Meer met Minder, met een breed maatschappelijk en ondernemend draagvlak. Enkele kenmerken zijn het benutten van natuurlijke momenten, een combinatie van stimuleren, belonen en straffen, opeenvolging van pilots, demonstratieprojecten naar marktintroductie met financiële ondersteuning.

### **3. Innovatieklimaat verbeteren**

Deze weg van verandering houdt in belangrijke mate een verandering van cultuur, structuur en werkwijze in. Er geldt namelijk het adagium 'innovatie is normaal',

hetgeen wordt gecreëerd door functionele specificaties, geen voorschrijvende normering meer in het Bouwbesluit, frisse combinaties van toeleveranciers, ontwerpers en installateurs en betere samenwerking tussen de ketenpartijen.

Dit zijn enkele mogelijkheden van strategieën, waarmee meerdere aangrijpingspunten worden benut om een beter binnenmilieu te creëren. Door gestructureerd, parallel en samenhangend verschillende wegen te bewandelen, kan het binnenklimaat worden verbeterd en krijgen innovatieve maatregelen een goede inbedding. Deze strategieën zullen dan nog wel nader moeten worden uitgewerkt in agenda's, thema's en projecten.

#### **E.4 Bronvermelding roadmap**

Hoogendoorn, J., Tielens, T. (2004) Handleiding voor systeemverkenning, TNO, Delft

TNO (2004) Rapportage Systeemverkenning Huisvesting Primair Onderwijs

TNO (2008) Energiereductie U-Bouw, Knelpunten, kansen en versnelling (concept)

TNO (2007) Vernieuwingsslag voor Energie in de gebouwde omgeving, Essay, Delft

TNO (2006) Goede en betaalbare woningen door nieuwe renovatieconcepten, Essay, Delft

Wan (2008) The challenge of energy reduction in the built environment, Master Thesis, TNO, Delft

## F Vergelijking maatregelen met ENVIE

	<b>EnVie conceptrapport</b>	<b>TNO invulling/aanvulling</b>
1	Luchtdichte gebouwschil, gebalanceerde ventilatie en luchtreiniging indien buitenluchtkwaliteit lager is dan de WHO richtlijnen	Verdeelring Hoge kwaliteit lage druk filtratie voor toevoervoorzieningen Filtratie die lucht niet verontreinigt Overdrukventilatie Verbeterde balansventilatie
2	Integreer binnenluchtkwaliteit in EPBD-procedure voor gebouwen	
3	Ontwikkel Europese op gezondheid gebaseerde ventilatierichtlijnen	Seizoensafhankelijke ventilatie
4	Voorzie in systematische documentatie voor gebruik, inspectie en onderhoud van gebouwen en alle installaties die het gebouw kunnen beschadigen, de luchtkwaliteit kunnen aantasten of gezondheidsrisico's veroorzaken	Ondersteuning gebruiker door actuele informatie en terugkoppeling. Display a la kopieerapparaat, meer documentatie zou niet nodig moeten zijn. Zelfinstellende/herstellende systemen
5	Wijs aan ieder gebouw een voldoende gekwalificeerde en getrainde persoon toe die alle gebouwdocumentatie beheert en verantwoordelijk is voor alle gebouwgerelateerde taken	
6	Ontwikkel Europese vochtregulerende richtlijnen voor gebouwwontwerp en onderhoud om langdurige vochtigheid en schimmelgroei te voorkomen	Vermijden toevoer door kieren en naden. Garanderen van een goede kwaliteit van de toevoerlucht afkomstig uit naden en kieren.
7	Verplicht reguliere inspectie en onderhoud voor alle ventilatie- en luchtconditioneringssystemen	Zelfinstellende/herstellende systemen
8	Voorzie keukens, badkamers en WC's met gecontroleerde afzuigventilatie en badkamers en WC's ook van waterdichte oppervlakken	Efficiëntere ventilatie met douchecabine. Automatische inschakeling afzuigkap tijdens koken, randafzuiging op pan
9	Ontwikkel en pas toe een Europees geharmoniseerd protocol voor het testen op luchtkwaliteit, rapporteren en labelen van bouwmaterialen, apparatuur en producten	
10	Vermijd ruimtes, structuren en materialen die niet door convectieve luchtstromen worden gedroogd	
11	Ban alle afvoerloze verbrandingstoestellen, voorzie gasfornuizen van afzuiging, verplicht toepassing van CO-detectoren, reguleer onderhoud- en inspectie van alle verbrandingstoestellen	Elektrisch koken Koken met 100% effectieve lokale afvoer, vlam en bakgassen Afzuiging op oven
12	Verplicht een radonveilige constructie voor alle nieuwe woningen	
13	Verhit warm tapwater boven 55°C	